Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 53-73

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۷۳-۵۳

بررسی خصوصیات فیزیولوژیک مؤثر بر بهبود عملکرد ارقام کلزا

عباس فروغی آینه ده[1*]، عباس بیابانی[2]، علی راحمی کاریزکی[3]، قربانعلی رسام[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۷

چکیده

به‌منظور مطالعه تغییرات خصوصیات فیزیولوژیک ارقام و لاین‌های کلزا و اثرات این تغییرات بر بهبود پتانسیل عملکرد، آزمایشی طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مجتمع آموزش عالی شیروان، خراسان شمالی انجام شد. در این آزمایش ۲۰ رقم و لاین کلزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار آزمایش شدند. به منظور بررسی شاخص‌های رشد، ارقام بر اساس تجزیه کلاستر به سه گروه با عملکرد بالا (Bilbao)، متوسط (کرج ۳) و پایین (ساری‌گل) تقسیم شدند و از هر گروه یک نماینده انتخاب شد. ارقام از لحاظ خصوصیات فنولوژیک متنوع بودند به‌طوری که ارقامی نظیر ساری‌گل، طلایه، شیرالی، ظفر و زرفام زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. همبستگی مثبت و معنی‌دار دوام گل‌دهی با عملکرد (r=۰/۶۶**) و تعداد خورجین در بوته (r=۰/۸۸**) از اهمیت این دوره در تعیین عملکرد دانه دارد.از نظر شاخص سطح برگ، رقم Bilbao نسبت به دو رقم کرج ۳ و ساری‌گل برتری داشت. همچنین رقم ساری‌گل زودتر از دو رقم دیگر به حداکثر شاخص سطح برگ رسید. همبستگی قوی بین حداکثر تجمع ماده‌ی خشک و عملکرد دانه وجود داشت (r=۰/۸۱**). شاخص‌های رشد از جمله CGR و RGR در سال اول به‌طور معنی‌داری از سال دوم بیش‌تر بودند. مقدار ضریب خاموشی (K) در سال اول از ۰/۶۵ (شیرالی) تا ۰/۷۷ (ظفر و ساری‌گل) و در سال دوم از ۰/۶۳ (کرج ۳) تا ۰/۸۰ (ظفر) متغیر بود. متوسط کارایی مصرف نور به‌ترتیب در دو سال آزمایش ۳/۸۰ و ۳/۶۳ گرم بر مگاژول در متر مربع برآورد گردید. به‌طور کلی عملکرد دانه در سال اول بیش‌تر از سال دوم انجام آزمایش بود. میانگین عملکرد ارقام در سال اول ۴۵۳/۸۰ گرم در متر مربع و در سال دوم ۴۰۱/۸۴ گرم در متر مربع بود. بیش‌ترین عملکرد در سال نخست انجام آزمایش متعلق به ارقام Bilbao، Kodiak، SW102، GKH-305 و Traviata با میانگین عملکرد ۴۹۵/۵۵ گرم در متر مربع و کم‌ترین عملکرد متعلق به ارقام زرفام، ساری‌گل، طلایه، شیرالی و Modena با میانگین عملکرد ۳۷۰/۴۸ گرم در متر مربع بود. بیش‌ترین عملکرد در سال دوم انجام آزمایش متعلق به ارقام Bilbao، GKH-305، Slm046، L72، SW102، Kodiak و Traviata با میانگین عملکرد ۴۵۰/۳۱ گرم در متر مربع و کم‌ترین میزان عملکرد متعلق به ارقام طلایه، Opera، کرج۳، Okapi، Modena، GKH-2005 و کرج ۱ با میانگین عملکرد ۳۴۹/۶۶ گرم در متر مربع بود. به طور کلی ارقامی که شاخص سطح برگ بالاتری داشتند و نیز زمان رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر، همزمان با تشعشع دریافتی بیش‌تر بود و هم‌چنین از تشعشع دریافتی با کارایی بالاتر بهره‌مند شدند، عملکرد بالاتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فنولوژی، شاخص سطح برگ، ضریب خاموشی، کارایی مصرف نور

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از دانه‌های ارزشمند روغنی است که در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و در طرح کاهش واردات روغن نباتی نیز سهم فراوانی برای آن در نظر گرفته شده است. این محصول در بین دانه‌های روغنی جهان بیش‌ترین رشد را در دهه‌های اخیر داشته و امروزه مقام سوم را پس از سویا و نخل روغنی در فراورده‌های روغن نباتی احراز کرده است (Berry, 2006). کلزا گیاهی است روغنی و یک‌ساله از تیره شب‌بوئیان که به‌صورت بوته‌ای استوار با انشعابات محدود و ارتفاع متوسط تا بلند رشد می‌کند. طول دوره رشد در ارقام زودرس و کشت بهاره ۹۰ تا ۱۵۰ روز و در کشت پاییزه از ۲۰۰ تا ۳۲۰ روز می‌رسد. گیاه کلزا در سال‌های اخیر به‌دلیل ویژگی‌های زراعی مناسب (جایگاه ویژه این گیاه در تناوب با گندم)، درصد روغن بالا و کیفیت مطلوب آن مورد توجه قرار گرفته و امید می‌رود که با توسعه کشت آن در کنار سایر محصولات روغنی تا حدودی از وابستگی کشور به روغن وارداتی کاسته شود (Rodi, 2003). عملکرد کلزا در سال ۲۰۰۳ میلادی در جهان و ایران

۱- دانشجوی سابق فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
۲- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
۳- استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
۴- دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولیدات گیاهی، مجتمع آموزش عالی شیروان، شیروان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: abbasfrooghi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.63733

به‌ترتیب ۱۵۶۷ و ۱۵۹۲ بوده که در سال ۲۰۱۴ به ۲۰۴۳ و ۲۱۲۵ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است (FAO, 2014). متخصصان فیزیولوژی گیاهان زراعی می‌بایست شاخص‌های فیزیولوژیک مهمی را که در گذشته باعث افزایش عملکرد شده‌اند و در آینده نیز می‌توانند به پیشرفت به‌نژادی در افزایش کمی و کیفی کمک کنند، شناسایی نمایند (Attarbashi, 2002).

واکنش فنولوژیک گیاهان زراعی به تغییرات دمای هوا در گونه‌های گیاهی مختلف از جمله کلزا مورد بررسی قرار گرفته است (Miralles *et al.*, 2011). از عوامل مؤثر بر نمو کلزای تیپ بهاره در دوره بین سبز شدن تا شروع گل‌دهی، دما و فتوپریود است (Habekotte, 2007). در حالی‌که نمو کلزا از کاشت تا سبز شدن و از شروع گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک تنها تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد (Azizi *et al.*, 2000). در گیاه کلزا حساس‌ترین زمان از نظر مواجه شدن با شرایط نامساعد محیطی و تأثیر آن بر عملکرد، مرحله گلدهی و اوایل خورجین‌بندی شناخته شده است؛ یعنی زمانی که تعداد دانه و خورجین در حال تعیین شدن است. بنابراین اثرات زیان‌آور این عوامل نه تنها به شدت، بلکه به زمان وقوع آن‌ها در طول فصل رویش بستگی دارد (Faraji, 2005).

زمان وقوع مراحل نموی برای تطبیق ژنوتیپ و محیط اهمیت حیاتی دارد و این بدان معنی است که چنان‌چه وقوع عوامل نامساعد مثل یخبندان و خشکی در فاصله بین گل‌دهی و رسیدگی به حداقل برسد و عوامل مساعد نظیر شرایط مطلوب تشعشع، دما و رطوبت برای رشد خورجین و دانه در حداکثر باشد؛ این تطبیق موفقیت‌آمیز است (Mendham *et al.*, 2008). وجود واکنش به بهاره‌سازی یا طول روز در یک ژنوتیپ بدین معناست که اگر نیازهای مطلوب به‌طور کامل تأمین نشود، آغازش گل‌آذین و گل‌دهی به تأخیر خواهد افتاد و تعداد بیش‌تری آغازی برگ علاوه بر آن حداقل تعداد، تولید می‌شود. این امر بدان معناست که گل‌دهی تا پایان یافتن زمستان یا طولانی‌تر شدن روزها، یا هر دو به تأخیر می‌افتد. تأخیر در گل‌دهی ممکن است هم‌چنین باعث بزرگ‌تر شدن ساختارهای رویشی، تولید تعداد بیش‌تری خورجین و پتانسیل عملکرد بالاتر شود (Azizi *et al.*, 2000).

تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشد به‌منظور تفسیر چگونگی عکس‌العمل گونه‌های گیاهی به شرایط محیطی حائز اهمیت زیادی است (Lebaschy *et al.*, 2004). در این راستا شاخص سطح برگ یکی از معیارهای اساسی و مهم در تعیین قدرت فتوسنتزی گیاه محسوب می‌گردد. نتایج برخی تحقیقات در این ارتباط نشان می‌دهد که شاخص سطح برگ معیار مناسبی برای برآورد میزان تغییرات عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (Lebaschy *et al.*, 2004). پتانسیل فتوسنتزی و توان رشدی همبستگی بالایی با میزان سطح برگ دارند. میزان ماده خشک کل نتیجه کارایی جامعه گیاهی از نظر استفاده از تابش نور خورشید در طول فصل رویشی است. در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد که با پوشش یکنواخت و کامل حداکثر جزب نوری را فراهم آورد (Ouzuni Douji *et al.*, 2008). از بین خصوصیات وابسته به رشد، میزان ماده خشک به‌دلیل اهمیت اقتصادی بیشتر به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده محسوب می‌شود. مطالعه رشد و تجمع ماده خشک در گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که تولید ماده خشک به شاخص سطح برگ و مقدار تشعشع دریافت شده در طول دوره رشد (Yano *et al.*, 2007) و کارایی گیاه در تبدیل تشعشع دریافت شده وابسته است. (Sinclair and Muchow, 1999). شاخص سطح برگ یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که برای مطالعه رشد و همانندسازی و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و اکولوژیک از جمله فتوسنتز، تعرق و بیلان انرژی محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmadi, 2013). شاخص سطح برگ بیان‌کننده سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط محصول است. معمولاً شاخص سطح برگ مساوی سه الی پنج جهت تولید حداکثر ماده خشک برای اغلب محصولات کاشته شده لازم است. در کلزا اگر حداکثر شاخص سطح برگ کم‌تر از چهار باشد، می‌توان گفت رشد و عملکرد گیاه در اثر کمبود سطح برگ محدود می‌شود زیرا شاخص سطح برگ حدود چهار برای دریافت حدود ۹۰ درصد تشعشع خورشیدی کفایت می‌کند (Azizi *et al.*, 2000).

کمیت‌هایی که در تجزیه و تحلیل رشد اجتماعات گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد نسبی (RGR) و سرعت رشد محصول (CGR) می‌باشد. سرعت رشد محصول، افزایش وزن یک اجتماع گیاهی در واحد سطح در واحد زمان می‌باشد و معمولاً بر حسب گرم در متر مربع در روز بیان می‌گردد. افزایش جذب تابش خورشیدی توسط گیاه، تجمع ماده خشک را به‌دنبال خواهد داشت (Vanosterom *et al.*, 2007). تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشد، منحصراً به اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک گیاه نیاز دارد و هدف از محاسبه شاخص‌های رشد توضیح و توصیف عکس‌العمل گیاه به شرایط محیطی است (Etesami, 2007). شرایط اقلیمی به‌خصوص میزان تشعشع دریافتی و ابری بودن بیش‌تر هوا (تغییر کسر تشعشع پراکنده به مستقیم) تولید ماده خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد چنان‌که هی و پورتر (Hey and Porter, 2006) بیان کردند که کارایی مصرف نور علاوه بر گونه گیاهی، به‌طور عمده به تغییر حداکثر فتوسنتز برگ، کسر تابش مستقیم یا پراکنده و وضعیت نیتروژن تاج پوشش بستگی دارد. ایشان هم‌چنین بیان کردند که تاج پوشش از تابش پراکنده بیش از تابش مستقیم بهره می‌برد؛ اما کل تابش در روز ابری به اندازه روز آفتابی نیست. بنابراین در شرایط مشابه همیشه ماده خشک تولید شده در روز آفتابی صاف نسبت به روز ابری بیش‌تر است. این تحقیق با هدف بررسی شاخص‌های رشد و نیز ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور

دراقام مختلف کلزا صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی شیروان، خراسان شمالی واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۴۰ دقیقه، طول جغرافیایی۵۷ درجه و ۹۳ دقیقه و ارتفاع ۱۰۹۷ متر از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۲۵۱/۸ میلی‌متر است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در طی سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۲۰ رقم و لاین کلزا بود (جدول ۱). زمین مورد آزمایش در هر سال زراعی با گاوآهن برگرداننده شد و جهت خرد کردن کلوخه‌ها دوبار دیسک سبک عمود بر هم زده شد. سپس در دو جهت گونیا گردید و پس از اجرای نقشه طرح، کرت‌ها و مرزها مشخص شدند. بذور از بخش دانه‌های روغنی مرکز تحقیقات بذر و نهال کرج تهیه گردید. پس از تصادفی کردن تیمارها برای هر سال به‌طور جداگانه، کشت با دست انجام شد. تاریخ کاشت منطقه بر اساس توصیه مراکز تحقیقاتی از نیمه دوم شهریور تا نیمه اول مهر می‌باشد. کاشت در هر دو سال زراعی در تاریخ ۳۰ شهریور صورت گرفت. هر کرت آزمایش شامل شش خط (سه پشته ۵۰ سانتی‌متری که کشت در دو طرف پشته‌ها انجام شد) به طول پنج متر و فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بلوک‌ها از هم دو متر در نظر گرفته شد. تمامی ارقام با تراکم بالا در تاریخ ذکر شده کشت شدند و پس از حصول اطمینان از استقرار بوته‌ها (مرحله چهار برگ حقیقی)، تراکم ۸۰ بوته در مترمربع (فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر) با عمل تنک کردن حاصل گردید. کودهای مورد مصرف بر اساس آزمون خاک به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان کاشت و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به صورت سرک، ۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در زمان کاشت بود. آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت و مراحل بعدی آبیاری در طول فصل رشد به‌گونه‌ای صورت پذیرفت که هیچ‌گونه علائم تنش خشکی در گیاهان مشاهده نگردید. هم‌چنین، در طول فصل تمامی علف‌های هرز موجود در کرت‌ها وجین گردیدند. در مرحله گل‌دهی با مشاهده آفاتی همچون شته و سوسک گرده‌خوار عملیات سمپاشی صورت گرفت. اندازه‌گیری‌هایی که در طول دو فصل زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ انجام شد عبارت بودند از ثبت مراحل فنولوژیک از زمان کاشت هر چهار روز یک‌بار در پاییز تا ثابت شدن رشد و در بهار از شروع رشد مجدد که به روش سیلوستر برادلی (Sylvester and Bradley, 1984) صورت گرفت. اولین نمونه‌برداری تخریبی در نیمه دوم اسفند ماه انجام شد (قبل از به ساقه رفتن ارقام) و به فاصله ۸ الی ۱۰ روز نمونه‌برداری‌های بعدی صورت گرفت. از هر کرت پنج بوته با رعایت حاشیه از طرفین (دو ردیف کناری و ۰/۵ متر از بالا و پایین به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد) کف‌بر گردیدند و پس از انتقال به آزمایشگاه، به برگ و ساقه تفکیک و پس از گرده‌افشانی و تشکیل خورجین، خورجین‌ها هم جدا گردیدند. سپس نمونه‌ها در دمای۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت در آون قرار گرفتند. سطح برگ با دستگاه سطح‌برگ‌سنج لیزری CID ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد. نسبت دریافت تشعشع با اندازه‌گیری تشعشع در بالا و پایین جامعه گیاهی با استفاده از دستگاه AccuPAR مدل LP-80 صورت گرفت، به این‌صورت که در ظهر خورشیدی (بین ساعات ۱۲ تا ۱۴) در بخشی از کرت که پوشش مناسب داشت، استقرار یافته و سپس با کمک پروب دستگاه یک بار تشعشع را در بالای جامعه گیاهی و دو بار در پایین جامعه گیاهی به نحوی که ابتدا و انتهای پروب دستگاه در فاصله بین ردیف‌ها قرار داشت، صورت گرفت. اندازه‌گیری تشعشع از مرحله ساقه‌دهی تا بسته شدن جامعه گیاهی به فاصله زمانی ۸ الی ۱۰ روز و دقیقاً قبل از نمونه‌برداری ماده خشک صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل صفات مورد ارزیابی در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم شکل‌ها و ویرایش آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت. قبل از انجام هر تجزیه و تحلیل، به‌دلیل این‌که طرح تجزیه مرکب بود، آزمون یکنواختی واریانس‌ها (آزمون بارتلت) انجام شد که واریانس خطا بین دو سال یکسان بود. هم‌چنین تجزیه کلاستر با روش متوسط فاصله (Average) انجام شد.

به منظور توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ نسبت به روزهای پس از کاشت از معادله لجستیک زیر استفاده شد که بهترین برازش را نسبت به نقاط اندازه‌گیری شده نشان داد (Soltani, 2005).

$$LAI= ((a\times\exp((-a)\times(dap-b))\times c))/((1+\exp((-a)\times(dap-b)))^2 \quad (۱)$$

در این معادله LAI شاخص سطح برگ، dap روز پس از کاشت و a، b و c ضرایب معادله می‌باشند.

برای توصیف وزن خشک در طول زمان از یک معادله لجستیک استفاده شد که زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ماده خشک و میزان حداکثر ماده خشک تولیدی را نیز نشان می‌دهد (Soltani, 2005).

$$Y=DM_{max}/(1+\exp(-a\times (dap-b))) \quad (۲)$$

در معادله لجستیک a ضریب معادله، b مدت زمانی که در آن تجمع ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود می‌رسد و DM_{max} حداکثر ماده خشک تولید شده (گرم در متر مربع)، dap روز پس از کاشت و Y تجمع ماده خشک می‌باشد. حاصل مشتق معادله بالا CGR می‌باشد. از تقسیم CGR بر TDM سرعت رشد نسبی (RGR) محاسبه گردید.

برای تعیین ضریب خاموشی از معادله زیر استفاده شد (Felent *et al*., 1996).

$$Y=1-\exp^{(-K_{PAR}\times LAI)}$$ (۳)

در این معادله Y نسبت پوشش گیاهی، K_{PAR} ضریب خاموشی بر پایه تشعشع فعال فتوسنتزی و شاخص سطح برگ می‌باشد.

کارایی مصرف نور (RUE) با استفاده از رگرسیون بیوماس تجمعی (گرم بر متر مربع) در مقابل تشعشع دریافتی تجمعی (مگاژول بر متر مربع) به صورت شیب خط حاصله تعیین گردید (Soltani and Sinclair, 2012).

جدول ۱- نام و مبدأ ارقام کلزای مورد مطالعه

Table 1- Name and origin of the studied rapeseed cultivars

ردیف Row	رقم Cultivar	تیپ رشد Growth habit	مبدأ Origin	ردیف Row	رقم Cultivar	تیپ رشد Growth habit	مبدأ Origin
1	طلایه (Talayee)	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)	11	Licord	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)
2	شیرالی (Shirali)	بهاره (Spring)	استرالیا (Australia)	12	Modena	زمستانه (Winter)	دانمارک (Denmark)
3	ساری‌گل (Sarigol)	بهاره (Spring)	ایران (Iran)	13	Bilbao	زمستانه (Winter)	فرانسه (France)
4	زرفام (Zarfam)	حدواسط (Facultative)	ایران (Iran)	14	کرج ۳ (Karaje 3)	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
5	Slm046	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)	15	L72*	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
6	GKH-305	زمستانه (Winter)	مجارستان (Hungry)	16	SW102*	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
7	okapi	زمستانه (Winter)	فرانسه (France)	17	ظفر (Zafar)	حدواسط (Facultative)	ایران (Iran)
8	GKH-1103	زمستانه (Winter)	مجارستان (Hungry)	18	کرج ۱ (Karaje 1)*	زمستانه (Winter)	ایران (Iran)
9	Opera	زمستانه (Winter)	سوئد (Sweden)	19	Traviata	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)
10	GKH-2005	زمستانه (Winter)	مجارستان (Hangry)	20	Kodiak	زمستانه (Winter)	آلمان (Germany)

* لاین SW102 که در پایان سال ۱۳۹۵ به‌عنوان رقم نیما در بخش دانه‌های روغنی مؤسسه اصلاح نهال و بذر کرج معرفی گردید. L72 و کرج ۱ لاین می‌باشند.

نتایج و بحث

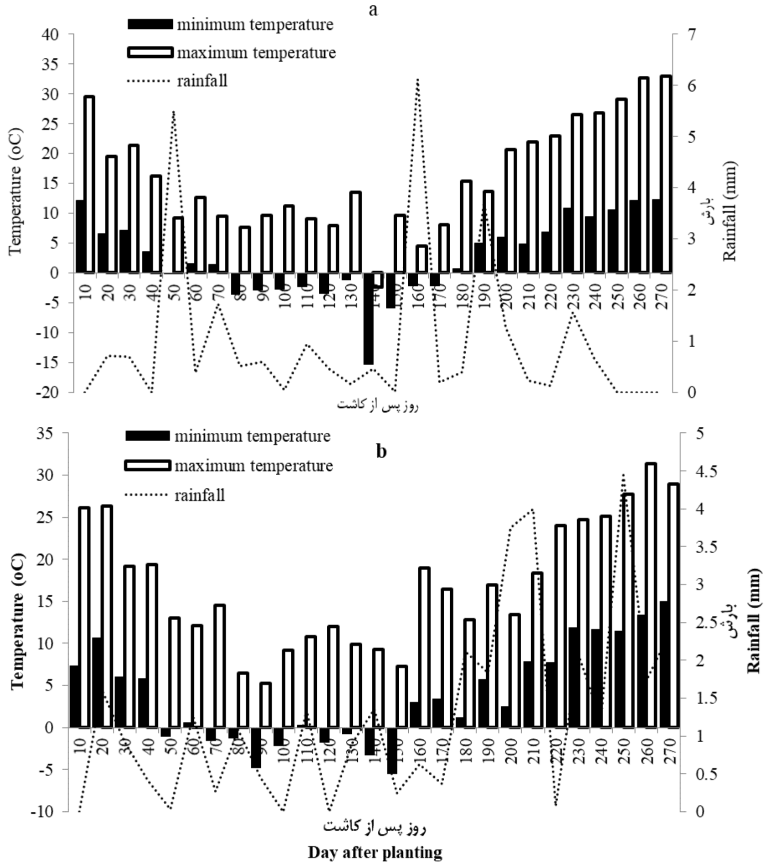
شرایط آب و هوایی

شرایط آب و هوایی محل انجام آزمایش در شکل ۱ و ۲ در دو سال اجرای آزمایش نشان داده شده است. در مقایسه بین دو سال از لحاظ حادث شدن زمان بارندگی و هم‌چنین مقدار بارش تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. سال زراعی ۹۴-۹۳ (۲۹۳/۷ میلی‌متر) نسبت به سال زراعی ۹۵-۹۴ (۲۱۷/۱۴ میلی‌متر) مرطوب‌تر می‌باشد. مهم‌ترین نکته این بود که توزیع بارندگی بین دو سال متفاوت می‌باشد. بیش‌ترین میزان بارندگی (۶۷ میلی‌متر) در اسفند سال ۹۴-۹۳ ثبت شد. در سال ۹۵-۹۴ بیش‌ترین میزان بارش در ماه فروردین با ۹۵/۹ میلی‌متر اتفاق افتاد. در مجموع پاییز و زمستان سال ۹۳ (۲۱۲/۵ میلی‌متر) نسبت به سال ۹۴ (۱۱/۵۴ میلی‌متر) بسیار پرباران‌تر بود. اما بهار سال ۱۳۹۵ (۲۰۵/۶ میلی‌متر) نسبت به سال ۹۴ (۸۱/۲ میلی‌متر) از نظر میزان بارندگی برتر بود.

میانگین درجه حرارت طی ۱۰ روز اول کاشت سال دوم (۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد) نسبت به زمان مشابه سال اول (۲۰/۸ درجه سانتی‌گراد) به میزان ۴/۱ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. میانگین دمای پاییز و زمستان سال ۹۳ (۶/۳۷ درجه سانتی‌گراد) در مقایسه با پاییز و زمستان سال ۹۴ (۷/۳۷ درجه سانتی‌گراد) یک درجه سانتی‌گراد کم‌تر بود. بین میانگین دمای بهار سال ۹۴ (۱۶/۸۶ درجه سانتی‌گراد) نسبت به بهار سال ۹۵ (۱۶/۴۶ درجه سانتی‌گراد) تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. کم‌ترین میانگین دمای ماهانه در دی ماه سال ۹۳ (۳/۲۵ درجه سانتی‌گراد) روی داد که با ماه‌های آذر و بهمن تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای نداشت. اما در سال ۹۴ کم‌ترین میانگین دمای ماهانه در ماه بهمن (۲/۸۲ درجه سانتی‌گراد) اتفاق افتاد. آن‌چه که دارای اهمیت بارزی است اختلاف میانگین دمای ماه اسفند بین دو

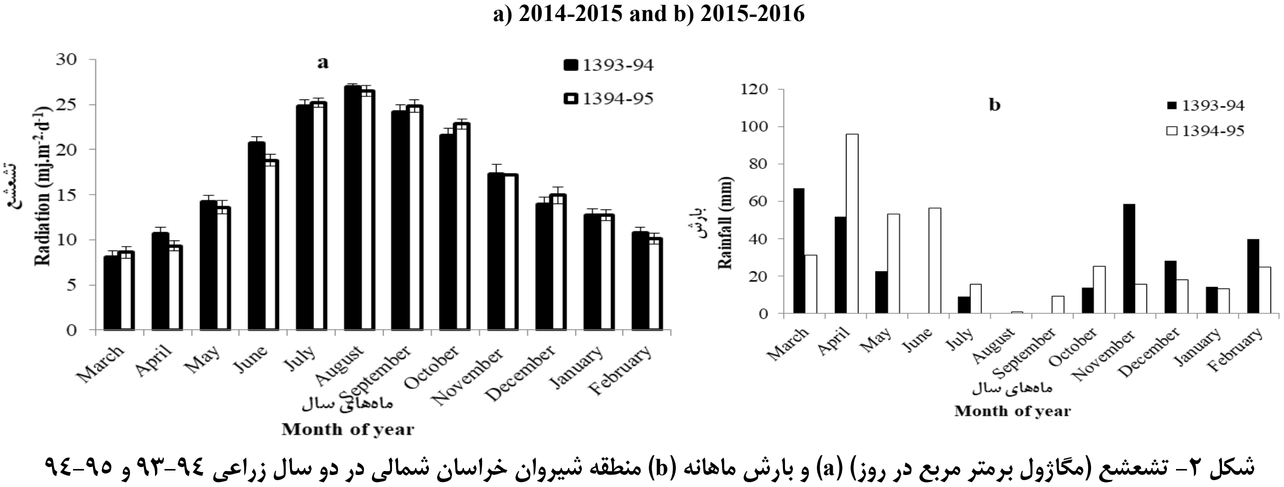
سال می‌باشد (شروع رشد مجدد و ظهور گل‌آذین برخی از ارقام در این ماه روی داد)، میانگین آن در سال ۹۳ (۳/۷ درجه سانتی‌گراد) نسبت به سال ۹۴ (۹/۲۹ درجه سانتی‌گراد) به‌طور قابل‌توجهی کم‌تر بود به طوری که در اسفند سال ۹۳ میانگین دمای حداقل، ۱/۴- درجه سانتی‌گراد و اسفند سال ۹۴، ۲/۵۵ درجه سانتی‌گراد بود.

مقایسه تشعشع دریافتی (مگاژول بر متر مربع در روز) بهار ۹۴ و بهار ۹۵ نشان می‌دهد که مقدار تشعشع دریافتی فروردین و اردیبهشت و خرداد ۹۴ به‌طور معنی‌داری از سال ۹۵ بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین در هر دو سال آزمایش از فروردین به خرداد میزان تشعشع دریافتی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲).



شکل ۱- میانگین دمای حداقل، حداکثر و نیز بارندگی روزانه شهرستان شیروان مربوط به دوره رشد گیاه
a- سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ و b- سال زراعی ۹٥-۱۳۹٤

Figure 1- The mean of minimum, maximum temperature and daily rainfall of Shirvan in crop growth period a) 2014-2015 and b) 2015-2016



شکل ۲- تشعشع (مگاژول برمتر مربع در روز) (a) و بارش ماهانه (b) منطقه شیروان خراسان شمالی در دو سال زراعی ۹٤-۹۳ و ۹٥-۹٤

Figure 2- Monthly radiation ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) (a) and rainfall (mm) (b) in Shirvan region in 2014-2015 and 2015-2016

ویژگی‌های فنولوژیک

نتایج تجزیه واریانس صفات فنولوژی بر اساس روز (تقویمی) تا رسیدن به مراحل مورد نظر نشان داد که اثر متقابل سال در ژنوتیپ بر تمام مراحل فنولوژیکی به‌جز روز تا سبز شدن، در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین صفت روز تا سبز شدن در سال اول کوتاه‌تر (۵/۲۷ روز پس از کاشت) از سال دوم (۶/۵۸ روز پس از کاشت) بود. مقایسه میانگین نشان می‌دهد که در سال اول پژوهش ارقام Bilbao، Licord، Modena و ساری‌گل دیرتر از سایر ارقام سبز شدند (۷/۸۷ روز پس از کاشت). Slm046، ظفر و Kodiak در مرحله بعد قرار گرفتند (۵/۲۵ روز پس از کاشت) و بقیه ارقام زودتر سبز شدند (۴/۴۸ روز پس از کاشت). هم‌چنین مقایسه میانگین صفت مذکور بین ارقام در سال دوم آزمایش نشان داد که ارقام Licord، Bilbao، Slm046، ساری‌گل و Modena دیرتر از سایر ارقام سبز شدند (۸/۸ روز پش از کاشت). رقم GKH-1103 در رتبه بعدی قرار گرفت (۶/۵ روز پس از کاشت) و بقیه ارقام تفاوت معنی‌داری از نظر سبز شدن با یکدیگر نداشتند. احتمالاً کاهش میانگین درجه حرارت طی ۱۰ روز اول کاشت سال دوم (۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد) نسبت به سال اول (۲۰/۸ درجه سانتی‌گراد) آزمایش علت سبز شدن دیرتر ارقام در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش باشد (جدول ۳ و ۴). کارتر و همکاران (Carter *et al*., 2004)، سلطانی و همکاران (Soltani *et al*., 2006) و زیا و خان (Zia and Khan, 2004) تأکید کردند که دما می‌تواند سبز شدن گیاهچه ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه را تحت تأثیر قرار دهد.

میانگین صفت روز تا به ساقه رفتن در سال اول (۱۸۱/۴۵ روز پس از کاشت) به‌طور معنی‌داری از سال دوم (۱۷۴/۴۳ روز پس از کاشت) بیش‌تر بود. هم‌چنین علت شروع رشد مجدد زودتر ارقام در سال دوم نسبت به سال اول احتمالاً به‌دلیل افزایش میانگین ۵/۵ درجه‌ای دمای اواخر زمستان (ماه اسفند) سال دوم نسبت به سال اول آزمایش بود. به‌علاوه، مقایسه میانگین در سال اول پژوهش نشان داد که ارقام ساری‌گل، طلایه، ظفر، شیرالی و زرفام زودتر از سایر ارقام وارد مرحله شروع رشد مجدد گردیدند (۱۶۳/۳۵ روز پس از کاشت)، در حالی‌که در همین سال ارقام Bilbao، Opera، Kodiak، Okapi، Modena و Traviata دیرتر از سایر ارقام به مرحله ساقه‌دهی وارد شدند (۱۹۰/۹۵ روز پس از کاشت) (جدول ۳ و ۴). بقیه ارقام حد واسط بین این دو وارد مرحله رشد مجدد گردیدند. در سال دوم آزمایش، مقایسه میانگین نشان داد که رقم Bilbao دیرتر از سایر ارقام وارد مرحله به ساقه رفتن گردید (۱۸۴ روز پس از کاشت). ارقام ساری‌گل، شیرالی، ظفر و سپس ارقام طلایه و زرفام زودتر از سایر ارقام وارد مرحله رشد مجدد گردیدند (به‌ترتیب ۱۵۸/۵ و ۱۶۶/۸۷ روز پس از کاشت). عزیزی و آروین (Azizi and Arvin, 2007) اعلام کردند که سرعت نمو از کاشت تا گل‌دهی همبستگی نزدیکی با میانگین طول روز در طی این مرحله دارد. آن‌ها همچنین بیان کردند که دما نیز در طی این زمان در حال تغییر است و یک واکنش اساسی نسبت به دما نیز وجود دارد. دما عامل اصلی نمو از گل‌دهی تا برداشت می‌باشد؛ ولی واکنش به عوامل دیگر یعنی بهاره‌سازی و فتوپریود، دیده نمی‌شود. به‌طور کلی میانگین صفت شروع گل‌دهی در سال اول (۱۹۱/۳۸ روز پس از کاشت) زودتر از سال دوم (۱۹۵/۲۵) حادث شد. میانگین دمای ماه فروردین سال دوم آزمایش، ۱/۳ درجه سانتی‌گراد کم‌تر از سال اول آزمایش بود. بنابراین زمان حادث شدن فرآیند گل‌دهی در سال دوم طولانی‌تر گردید. در سال اول پژوهش ارقام شیرالی، ظفر و ساری‌گل اولین گروه از ارقامی بودند که فرآیند شروع گل‌دهی در آن‌ها اتفاق افتاد (۱۷۷/۲۵ روز پس از کاشت). بعد از آن ارقام طلایه و زرفام شروع گل‌دهی در آن‌ها ثبت گردید (۱۸۰/۸۷ روز پس از کاشت). ارقام Bilbao، Okapi، Modena، Traviataو Kodiak دیرتر از همه فرآیند فنولوژیک شروع گل‌دهی در آن‌ها اتفاق افتاد (۱۹۹/۶ روز پس از کاشت).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب مراحل مهم فنولوژیکی ارقام مختلف کلزا در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴. EM روز تا سبز شدن، SHO روز تا شروع ساقه‌دهی، SFL روز تا شروع گل‌دهی، EFL روز تا پایان گل‌دهی، SF روز تا شروع پر شدن دانه، PM روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 2- Combined analysis of important phonological stages of different canola cultivars in 2014-2015 and 2015-2016. Em: day to emergence, SHO: day to elongation, SFL: day to flowering, EFL: day to end of flowering, SF: day to grain filling, PM: day to physiological maturity

		میانگین مربعات (MS)					
سال (Year)	1	68.90**	1775.35**	602.92**	9.95ns	142.99**	4453.93**
خطا (Error)	6	1.40	3.50	6.85	3.71	5.05	4.27
رقم (Cultivar)	19	15.45**	737.14**	625.74**	558.04**	617.75**	453.93**
رقم×سال (Cultivar×Year)	19	0.41ns	29.45**	41.67**	76.18**	71.06**	51.04**
خطا (Error)	114	0.45	3.32	3.01	3.64	2.61	2.47
CV (%) (ضریب تغییرات)	-	11.3	1.0	0.9	0.9	0.7	0.6

جدول ۳- مقایسه میانگین مراحل مهم فنولوژیکی ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳. EM روز تا سبز شدن، SHO روز تا شروع ساقه‌دهی، SFL روز تا شروع گل‌دهی، EFL روز تا پایان گل‌دهی، SF روز تا شروع پر شدن دانه، PM روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 3- Mean comparison of important phonological stages of different canola cultivars in 2013-2014.Em: day to emergence, SHO: day to elongation, SFL: day to flowering, EFL: day to end of flowering, SF: day to seed filling, PM: day to physiological maturity

ارقام (Cultivars)	EM	SHO	SFL	EFL	SF	PM
Licord	8.75^{a}	189.00^{bcd}	197.25^{c}	227.50^{de}	225.75^{b}	256.25^{b}
Bilbao	8.50^{a}	193.00^{a}	200.75^{ab}	236.50^{a}	230.75^{a}	260.75^{a}
GKH-305	4.25^{d}	184.00^{ef}	190.25^{d}	219.50^{i}	211.25^{h}	246.50^{fg}
Slm046	5.75^{c}	186.50^{ed}	196.75^{c}	227.50^{de}	219.50^{ef}	251.50^{de}
ساری‌گل (Sarigol)	7.00^{b}	160.00^{h}	178.00^{fg}	203.75^{kl}	202.00^{j}	238.25^{i}
طلایه (Talayee)	4.50^{d}	167.75^{g}	181.25^{a}	207.50^{j}	207.25^{ij}	244.50^{fg}
L72	4.50^{d}	184.50^{ef}	192.00^{d}	223.50^{fgh}	230.25^{a}	255.75^{b}
Sw102	4.25^{d}	184.25^{ef}	191.00^{d}	226.00^{ef}	222.50^{cd}	252.75^{cde}
شیرالی (Shirali)	4.50^{e}	161.50^{h}	177.00^{g}	201.50^{l}	197.75^{k}	236.75^{j}
ظفر (Zafar)	5.00^{cd}	160.00^{h}	176.75^{g}	203.75^{kl}	202.25^{j}	239.00^{k}
GKH-1103	4.50^{d}	183.75^{ef}	191.25^{d}	222.50^{ghi}	209.25^{hi}	245.50^{gh}
Opera	4.75^{d}	190.25^{abc}	197.75^{c}	229.75^{cd}	215.25^{g}	247.75^{f}
زرفام(Zarfam)	4.50^{d}	167.50^{g}	180.50^{ef}	206.50^{jk}	196.00^{k}	234.25^{k}
کرج ۳ (Karaje 3)	4.50^{d}	182.25^{f}	190.25^{d}	221.50^{hi}	214.75^{g}	252.00^{cde}
Kodiak	5.00^{cd}	190.25^{abc}	198.50^{abc}	231.50^{bc}	220.25^{ed}	253.50^{cd}
Okapi	4.50^{d}	190.25^{abc}	201.25^{a}	226.75^{de}	216.25^{g}	250.75^{e}
کرج ۱ (Karaje 1)	4.75^{d}	184.50^{ef}	192.00^{d}	220.75^{hi}	211.25^{h}	243.75^{f}
Modena	7.25^{b}	191.25^{ab}	199.00^{abc}	225.00^{efg}	222.75^{cd}	251.75^{de}
GKH-2005	4.50^{d}	187.75^{cd}	198.00^{bc}	232.25^{bc}	217.25^{fg}	254.00^{cb}
Traviata	4.25^{d}	190.50^{abc}	198.50^{abc}	233.00^{b}	223.50^{bc}	257.25^{b}
میانگین (Mean)	5.27	181.45	191.38	221.32	214.45	247.12
$LSD_{0.05}$	0.84	3.05	2.96	3.04	2.77	2.07

مقایسه میانگین سال دوم آزمایش نشان می‌دهد که ارقام ساری‌گل، شیرالی و ظفر و پس از آن‌ها زرفام و طلایه به مرحله گل‌دهی رسیدند (به‌ترتیب ۱۷۶/۴۱ و ۱۸۵/۸۷ روز پس از کاشت) و رقم Bilbao به تنهایی مرحله گل‌دهی را دیرتر از سایر ارقام تجربه کرد (۲۱۰/۳۳ روز پس از کاشت). طول دوام گل‌دهی در واقع تعیین‌کننده مهم‌ترین جزء عملکرد یعنی تعداد خورجین در بوته می‌باشد. به‌طور کلی این صفت در سال اول آزمایش ۲۹/۹۲ روز طول کشید که تفاوت معنی‌داری را با سال دوم آزمایش داشت (۲۶/۴۳ روز). شاید علت این اختلاف وجود روزهای ابری بیش‌تر در سال دوم و هم‌چنین وقوع بارندگی‌های پیاپی در مرحله شروع گل‌دهی تا مرحله پایان گل‌دهی باشد. این دوره در ارقام ساری‌گل، شیرالی، ظفر و زرفام در سال دوم نسبت به سال اول افزایش یافته بود (به‌ترتیب ۳۳/۷۵ روز در برابر ۲۵/۸۱ روز)؛ در حالی‌که سایر ارقام دوره گل‌دهی طولانی‌تری را در سال اول آزمایش (۳۰/۹۶) نسبت به سال دوم (۲۴/۵۷ روز) تجربه کردند. با مشاهده و مقایسه وضعیت آب و هوایی زمان شروع تا پایان گل‌دهی ارقام می‌توان علت را در وقوع بارندگی و روزهای ابری در زمان گل‌دهی و گرده‌افشانی جستجو نمود. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین طول دوره گل‌دهی و عملکرد ($r=0/66^{**}$) و به‌خصوص تعداد خورجین در بوته ($r=0/81^{**}$) تأکیدی بر اهمیت این دوره بحرانی در تعیین عملکرد دانه می‌باشد.

روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بین دو سال متفاوت بود و این مرحله در سال دوم ۱۱/۲۲ روز دیرتر از سال اول به وقوع پیوست. در سال اول ارقام زرفام، ساری‌گل، شیرالی، ظفر زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (۲۳۷/۰۶ روز پس از کاشت). رقم Bilbao به‌طور معنی‌داری دیرتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسید (۲۶۰/۷۵ روز پس از کاشت). در سال دوم ارقام ساری‌گل، شیرالی، ظفر زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دست یافتند (۲۴۴ روز پس از کاشت) و رقم Okapi که

با ارقام Licord ،Bilbao و کرج ۳ تفاوت معنی‌داری نداشت، دیرتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسید (۲۶۸/۲۵ روز پس از کاشت). احتمالاً تأخیر شروع گل‌دهی در سال دوم (کاهش دمای هوا) و نیز شرایط کاهش تشعشع، از عوامل تأخیر رسیدگی فیزیولوژیک سال دوم نسبت به سال نخست انجام آزمایش می‌باشد.

در مجموع ارقام از لحاظ خصوصیات فنولوژیک متنوع بودند به‌طوری که ارقامی نظیر ساری‌گل، طلایه، شیرالی، ظفر و زرفام زودتر از سایر ارقام به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند. همچنین مراحل فنولوژیک تحت تأثیر سال آزمایش قرار گرفت. همبستگی مثبت و معنی‌دار دوام گل‌دهی با عملکرد (**r=۰/۶۶) و تعداد خورجین در بوته (**r=۰/۸۸) از اهمیت این دوره در تعیین عملکرد دانه دارد؛ به‌طوری که مهم‌ترین مرحله تشکیل عملکرد (دوام گل‌دهی) تحت تأثیر شرایط محیطی از جمله دما، تشعشع و بارندگی قرار داشت.

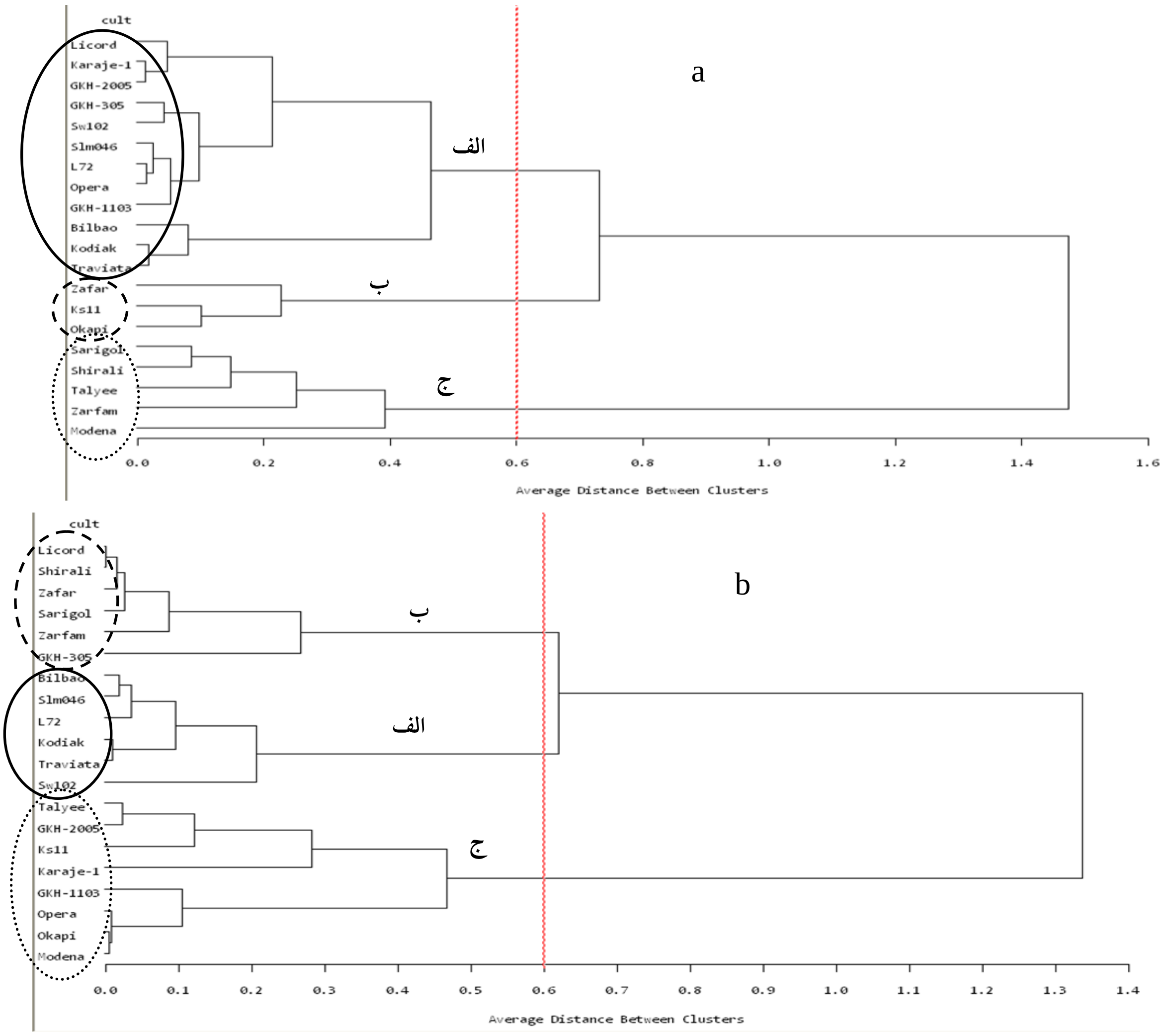
جدول ٤- مقایسه میانگین مراحل مهم فنولوژیکی ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤. EM روز تا سبز شدن، SHO روز تا شروع ساقه‌دهی، SFL روز تا شروع گل‌دهی، EFL روز تا پایان گل‌دهی، SF روز تا شروع پر شدن دانه، PM روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

Table 4- Mean comparison of important phonological stages of different canola cultivars in 2014-2015.Em: day to emergence, SHO: day to elongation, SFL: day to flowering, EFL: day to end of flowering, SF: day to seed filling, PM: day to physiological maturity

ارقام (Cultivars)	EM	SHO	SFL	EFL	SF	PM
Licord	9.50[a]	179.75[bc]	199.75[c]	224.00[efg]	222.25[cdef]	266.50[abcd]
Bilbao	9.75[a]	184.00[a]	210.33[a]	235.33[a]	225.00[ab]	267.66[ab]
GKH-305	6.50[c]	180.25[b]	200.50[c]	223.00[ghi]	221.00[fg]	264.50[de]
Slm046	8.25[b]	176.25[d]	198.00[d]	221.75[ghij]	218.75[h]	261.50[g]
ساری‌گل (Sarigol)	8.25[b]	158.75[h]	176.75[h]	210.50[k]	200.25[k]	244.00[j]
طلایه (Talayee)	5.50[cd]	168.75[f]	185.00[g]	211.25[k]	206.75[j]	249.50[i]
L72	5.75[cd]	174.25[de]	198.75[cd]	228.25[b]	219.75[gh]	261.50[g]
Sw102	5.25[d]	173.50[e]	193.00[e]	221.50[hij]	218.00[h]	260.25[gh]
شیرالی (Shirali)	5.50[cd]	159.00[h]	176.25[h]	209.75[k]	201.50[k]	244.00[j]
ظفر (Zafar)	6.25[cd]	157.75[h]	176.25[h]	209.75[k]	200.25[k]	244.00[j]
GKH-1103	6.50[c]	181.25[b]	205.50[b]	226.00[bcde]	220.75[fg]	264.00[ef]
Opera	6.00[cd]	181.25[b]	201.00[c]	223.50[fgh]	221.25[efg]	265.25[cde]
زرفام (Zarfam)	5.50[cd]	165.00[g]	186.75[f]	221.00[hij]	205.50[j]	250.00[i]
کرج ۳ (Karaje 3)	5.50[cd]	173.75[e]	201.00[c]	225.25[cdef]	223.75[bc]	266.75[abc]
Kodiak	6.25[cd]	180.25[b]	194.50[e]	223.75[efgh]	221.50[efg]	265.75[bcde]
Okapi	5.50[cd]	181.00[b]	204.25[b]	225.00[def]	226.75[a]	268.25[a]
کرج ۱ (Karaje 1)	6.00[cd]	176.00[d]	196.75[d]	220.50[j]	215.25[i]	258.75[h]
Modena	8.25[b]	181.00[b]	205.25[b]	227.25[bcd]	223.00[cde]	262.00[fg]
GKH-2005	5.75[cd]	178.25[c]	198.00[d]	222.25[ghij]	221.75[def]	265.00[cde]
Traviata	6.00[cd]	181.00[b]	201.25[c]	227.50[bc]	223.50[bcd]	265.50[bcde]
میانگین (Mean)	6.58	174.43	195.25	221.85	215.08	258.34
$LSD_{0.05}$	1.04	1.95	1.84	2.39	1.78	1.85

تجزیه و تحلیل رشد

در این تحقیق جهت بررسی تجزیه و تحلیل رشد گیاه در طی فصل رشد، ارقام بر اساس تجزیه کلاستر به سه گروه با عملکرد بالا (خط ممتد)، عملکرد متوسط (خطوط بریده) و عملکرد کم (خطوط نقطه‌چین) تقسیم شدند و از هر گروه یک نماینده که در گروه اول دارای بالاترین عملکرد، در گروه دوم دارای عملکرد متوسط (نزدیک به میانگین گروه) و در گروه سوم دارای کم‌ترین عملکرد بود انتخاب شد. از گروه اول رقم Bilbao، از گروه دوم رقم کرج ۳ و از گروه سوم رقم ساری‌گل انتخاب شدند (شکل ۳).



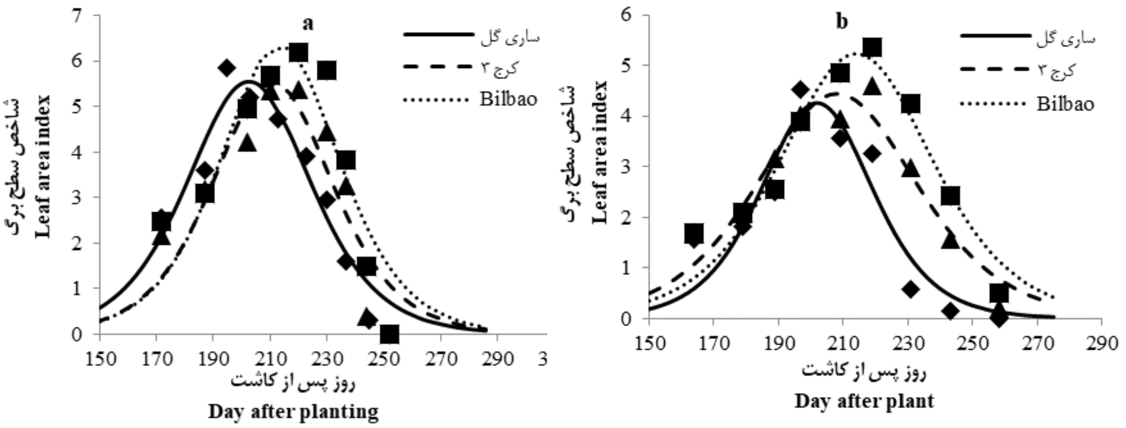
شکل ۳ - تجزیه کلاستر عملکرد ارقام مختلف کلزا به روش متوسط فاصله (Average) در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ (a) و ۹۵-۱۳۹٤ (b)

Figure 3- Cluster analysis of yield of different canola cultivars by method of average distance in 2014-2015 and 2015-2016

شاخص سطح برگ

روند تغییرات شاخص سطح برگ، در ارقام مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در سال زراعی ۹۴-۹۳ رقم ساری‌گل به‌دلیل شروع رشد مجدد زودتر، در اوایل فصل دارای شاخص سطح برگ بالاتری بود و این روند تا ۲۰۴ روز پس از کاشت ادامه داشت. در این روز رقم ساری‌گل به حداکثر شاخص سطح برگ خود (LAI_{max}=۵/۵۰) دست یافت و در ادامه روند نزولی پیدا کرد. در رقم کرج ۳، روند افزایش شاخص سطح برگ تا ۲۰۸ روز پس از کاشت ادامه یافت و در این تاریخ به حداکثر شاخص سطح برگ ۵/۴۶ دست یافت. رقم Bilbao در ۲۱۶ روز پس از کاشت به حداکثر شاخص سطح برگ ۶/۲۷ دست یافت (جدول ۵). در سال دوم روند افزایش شاخص سطح برگ برای رقم ساری‌گل تا ۲۰۲ روز پس از کاشت ادامه داشت که در این روز شاخص سطح برگ ۴/۲۵ به‌دست آمد. هم‌چنین رقم کرج ۳ در ۲۰۸/۱ روز پس از کاشت به حداکثر شاخص سطح برگ خود دست یافت. رقم Bilbao نیز به افزایش روند شاخص سطح برگ تا ۲۱۴ روز پس از کاشت ادامه داد که در این روز شاخص سطح برگ به ۵/۲۲ رسید (جدول ۵). شاخص سطح برگ ارقام در سال دوم نسبت به سال اول انجام آزمایش کاهش یافت. احتمالاً دلیل این کاهش با کاهش دما و نیز افزایش شرایط ابری بودن هوا و کاهش تشعشع رسیده در ماه‌های فروردین و اردیبهشت مرتبط است. علاوه بر تفاوت بین این سه رقم از نظر میزان شاخص سطح برگ، زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نیز متفاوت بود. نقش

برگ‌ها در عملکرد می‌تواند در تعیین انـدازه مقصـدهایی نظیـر تعـداد خورجین در گیـاه مهـم باشـد (Hosseinzadeh *et al*., 2008). بـین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیـک بـا حـداکثر شـاخص سـطح بـرگ همبستگی مثبت و معنـی‌داری در سـطح یـک درصـد وجـود داشـت، به‌طوری که ضریب همبستگی بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیـک با حداکثر شاخص سطح برگ به‌ترتیب ۰/۵۳ و ۰/۶۳ بود (جدول ۱۰). در توجیه این رابطه می‌توان بیان داشت که سطح برگ بیش‌تر و ماده خشک بیش‌تر قبل از گرده‌افشـانی منجـر بـه ذخیـره بـیش‌تـر مـواد فتوسنتزی در ساقه و برگ‌ها می‌شود، که در نهایت این عمل منجر به انتقال آسیمیلات‌ها به دانه و افزایش عملکـرد در واحـد سـطح خواهـد شد. هم‌چنین از آن‌جا که فتوسنتز جاری گیاه در بعـد از گـرده‌افشـانی مهم‌ترین عامل پر شدن دانه می‌باشد، بنابراین سطح بـرگ بـالاتر در بعد از گرده‌افشانی یکی دیگر از دلایـل افـزایش عملکـرد مـی‌باشـد. محققان همبستگی مثبت بین عملکـرد دانـه و شـاخص سـطح بـرگ موجود در اواسط گل‌دهی را در کلزا گزارش کردند (Thurling, 1974؛ Gabrielle *et al*., 1998). هم‌چنین بین روز تا رسـیدن بـه حـداکثر شاخص سطح برگ و عملکرد دانه نیز همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد به‌دسـت آمـد (*r=۰/۳۱). بررسـی میـزان تشعشـع ورودی نشان می‌دهد که میزان آن از اسفند تا مرداد رو بـه افـزایش اسـت و حداکثر تشعشع ورودی در دوره رشد گیاه در فصـل خـرداد مـی‌باشـد. بنابراین رقم Bilbao که از نظر شروع رشد مجـدد در بهـار بـا تـأخیر قابل توجه نسبت به رقم ساری‌گل همراه بود؛ شرایط مساعدتری را از نظر دمایی و نیز تشعشع در مراحل تشکیل اجزای عملکـرد و نیـز پـر شدن دانه دارا بود. در سـال دوم کـاهش میـزان تشعشـع دریـافتی و میانگین دما در زمان شروع رشد مجدد، سبب کاهش سطح برگ ارقام گردید. معمولاً شاخص سـطح بـرگ مسـاوی ۳ الـی ۵ جهـت تولیـد حداکثر ماده خشک برای اغلب محصولات کاشته شده لازم اسـت. در کلزا اگر حداکثر شاخص سطح برگ کم‌تر از چهار باشد می‌توان گفـت رشد و عملکرد گیاه در اثر کمبود سطح برگ محـدود مـی‌شـود، زیـرا شاخص سطح برگ حدود چهار برای دریافت حدود ۹۰ درصد تشعشع خورشـیدی کفایـت مـی‌کنـد (Mendham *et al*., 2009). بنـابراین شاخص سطح برگ در این مطالعه محدودکننـده عملکـرد نمـی‌باشـد. عزیزی و همکاران (Azizi *et al*., 2000) گزارش کردند که حـداکثر سطح سبز در مرحله گل‌دهـی و حـداکثر سـرعت رشـد محصـول در مرحله پایان گل‌دهی حاصل شد. هم‌چنین ایشان گزارش کردنـد کـه ماده خشک کل و شاخص سطح برگ دارای ضرایب بالاتر همبستگی نسبت به سایر شاخص‌های رشدی با عملکرد بودند. نتایج این مطالعه با یافته‌های ضمیری، آلن و مورگان و کلارک و سیمپسون (Zamiri, 2009; Allen and Morgan, 2009; Clarke and Simpson, 2008) که زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ کلزا را در نیمه مرحله گل‌دهی گزارش کردند، مطابقت دارد. بنـابراین انطبـاق زمـان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ با تشعشع دریافتی بیش‌تـر یکـی از دلایل افزایش عملکرد می‌باشد. لوکاس و همکـاران (Lucas *et al*., 2003) بر اهمیت انطباق مرحله پـر شـدن دانـه بـا حـداکثر تشعشـع خورشید تأکید داشتند. نبوی (Nabavi, 1998) همبسـتگی مثبـت ۹۴ درصدی را بین حداکثر شاخص سطح بـرگ و عملکـرد دانـه در کلـزا گزارش کرد. در کلزا از آن‌جایی که حـداکثر شـاخص سـطح بـرگ در زمان گل‌دهی حادث مـی‌شـود (Manaffe and Kloepper, 2004)، هر اندازه سطح برگ گیاه در این موقع بیش‌تر باشد، به همـان انـدازه نیز قادر به استفاده بهتر و بیش‌تر از تشعشع خورشـیدی بـوده و تـوان تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تری پیدا می‌کند که در نهایت بر دانـه‌هـای موجود در خورجین و عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد (Sharma, 2003).



شکل ٤- روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت در ارقام کلزا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ (a) و سال زراعی ۹۵-۱۳۹٤ (b)

Figure 4- Trend of changes of leaf area index against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015- 2016 (b)

جدول ۵- ضرایب (a، b و c) معادله پیش‌بینی تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل زمان در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳: تعداد مشاهدات (n)، حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max}) و زمان وقوع آن بر حسب روز (T_{max}) و ضریب تبیین (R^2)

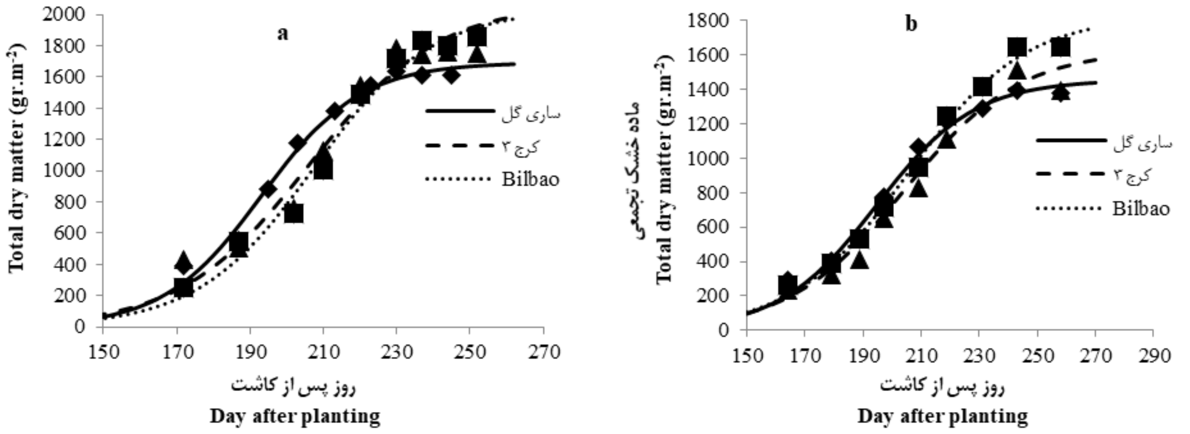
Table 5- Estimated logistic model coefficients of (equation 1) leaf area index against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 and 2015-2016 (a, b and c are equation coefficients, LAI_{max} is maximum leaf area, T_{max} is days to maximum LAI)

	رقم (Cultivar)	n	a±SE	b±SE	c±SE	LAImax	T max	R2
Growing season 93-94	Bilbao	9	0.070±0.011	213.9±2.89	358.3±44.00	6.27	216	0.95
	ساری‌گل	9	0.060±0.009	204.2±3.12	366.7±45.12	5.50	204	0.96
	کرج ۳	9	0.070±0.011	211.0±3.19	312.9±41.49	5.46	208	0.95
Growing season 94-95	Bilbao	9	0.063±0.005	214.1±1.85	330.1±23.53	5.22	214	0.98
	ساری‌گل	9	0.086±0.013	210.9±2.36	196.7±24.35	4.25	202	0.95
	کرج ۳	9	0.060±0.006	208.1±2.06	294.2±23.02	4.42	210	0.98

الگوی تجمع ماده خشک

در استفاده از معادله لجستیک (معادله ۲) که با هدف محاسبه زمان حصول ۵۰ درصد عملکرد ماده خشک و حداکثر ماده خشک تولیدی استفاده شد، توصیف خوبی از تجمع ماده خشک به‌دست داد، به‌نحوی که مقادیر ضرایب تبیین همگی بزرگتر از ۹۸ درصد بودند (جدول ۶). اختلاف ارقام از نظر مدت زمان لازم برای رسیدن ماده خشک به ۵۰ درصد حداکثر خود متفاوت بود و روند تقریباً مشابهی بین دو سال از این نظر وجود داشت. بین دو سال آزمایش، در سال اول میانگین زمان رسیدن به ۵۰ درصد ماده خشک ۲۰۳/۰۴ روز پس از کاشت بود، اما در سال دوم این زمان با تأخیر ۲/۲۵ روز در ۲۰۵/۳ روز پس از کاشت روی داد. در سال اول در ارقام ساری‌گل، کرج۳ و Bilbao زمان حصول ۵۰ درصد ماده خشک تجمعی به‌ترتیب ۱۹۳/۳، ۲۰۲/۲ و ۲۰۷/۳ روز پس از کاشت اتفاق افتاد. در سال دوم آزمایش این پارامتر در ارقام ذکر شده به‌ترتیب در ۱۹۴/۶، ۲۱۰/۲ و ۲۰۸/۹ اتفاق افتاد که گویای شرایط محیطی متفاوت بین دو سال می‌باشد (جدول ۶). روند تغییرات ماده خشک ارقام مورد آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است. چنان‌چه مشاهده می‌شود؛ تشکیل ماده خشک در ارقام به‌عنوان معیاری از میزان تولید، از یک منحنی غیر خطی در هر دو سال زراعی تبعیت می‌کند. به‌طور کلی در اوایل رشد گیاه با توجه به دمای پایین و تشعشع کم با وجود پوشش گیاهی مناسب (در کلزا) افزایش اولیه ماده خشک کم می‌باشد. در سال اول ارقام موردآزمایش در مراحل اولیه رشد (رزت) از نظر ماده خشک تجمعی اختلاف زیادی با هم نداشتند و از ۱۷۰ روز بعد از کاشت (شروع گل‌دهی) اختلاف رقم ساری‌گل از دو رقم دیگر بیش‌تر شد (سرعت رشد نسبی بالاتر در اوایل رشد) و در زمان پر شدن دانه به حداکثر رسید؛ ولی این رقم زودتر به حالت رشد ثابت رسید اما دو رقم دیگر (Bilbao و کرج ۳) دیرتر به رشد ثابت دست یافتند و تولید ماده خشک آن‌ها از رقم ساری‌گل پیشی گرفت. در سال دوم تا ۲۲۰ روز پس از کاشت اختلافی بین ارقام مشاهده نشد و سپس رقم Bilbao از نظر تولید ماده خشک از دو رقم دیگر پیشی گرفت. تفاوت آب و هوایی آشکار بین دو سال و کاهش تشعشع و وقوع بارش‌های پیاپی (هوای ابری) در سال دوم علت تفاوت ایجاد شده تجمع ماده خشک بین دو سال است (شکل ۱ و ۲). در سال اول بین دو رقم کرج ۳ و Bilbao از نظر حداکثر تجمع ماده خشک تفاوت معنی‌داری از نظر آماری مشاهده نشد، در حالی‌که رقم ساری‌گل از دو رقم دیگر متفاوت بود (جدول ۶). این اختلاف را می‌توان به بالاتر بودن شاخص سطح برگ در ارقام نسبت داد. به‌دلیل افزایش سطح برگ میزان جذب تشعشع خورشیدی بالا رفته و به تبع آن فتوسنتز و ماده‌سازی افزایش یافت. هم‌چنین شاخص سطح برگ در ارقام Bilbao و کرج ۳ زمانی به حالت حداکثر رسید که تشعشع خورشیدی بیش‌تر نسبت به زمانی که رقم ساری‌گل به حداکثر شاخص سطح برگ رسید وجود داشت. بنابراین تطابق زمان حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تابش دریافتی از خورشید برای دست‌یابی به عملکرد بالا بسیار حائز اهمیت است (Lucas *et al*., 2003). همبستگی بین شاخص سطح برگ و عملکرد بیولوژیک ($r=0/63^{**}$) و عملکرد اقتصادی ($r=0/53^{**}$) مؤید این مساله است (جدول ۱۰).

همبستگی قوی بین حداکثر تجمع ماده‌ی خشک و عملکرد دانه وجود داشت ($r=0/81^{**}$) (جدول ۱۰). وزن خشک گیاه حاصل تجمع مواد فتوسنتزی و یکی از مهم‌ترین فاکتورهای برآورد عملکرد محصول است؛ به‌طوری که بسیاری از محققین با اندازه‌گیری وزن خشک بخش‌های مختلف گیاه و وزن خشک کل اندام‌های هوایی، اقدام به تعیین الگوی رشد کرده‌اند (Gardner, 2005). الگوی تجمع وزن خشک در این مطالعه با مطالعات طهماسبی‌زاده و همکاران (Tahmasebizade *et al*., 2009) و ناظری و همکاران (Nazeri *et al*., 2012) مطابقت داشت.



شکل ۵- روند تغییرات ماده‌ی خشک تجمعی (گرم در متر مربع) در مقابل روز پس از کاشت در ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ (a) و سال زراعی ۹٥-۱۳۹٤ (b)

Figure 5- Figure 3- Trend of changes of cumulative dry matter against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015- 2016 (b)

جدول ٦- ضرایب معادله لجستیک جهت پیش‌بینی تجمع ماده خشک در مقابل زمان برای ارقام مختلف در طی دو سال آزمایش. تعداد نمونه‌برداری (n)، ضریب معادله (a)، مدت زمانی که تجمع ماده خشک به ٥٠ درصد حداکثر خود می‌رسد (b) (بر حسب روز)، حداکثر ماده خشک تولید شده (dm_{max}) (گرم در متر مربع)، ضریب تبیین (R^2)

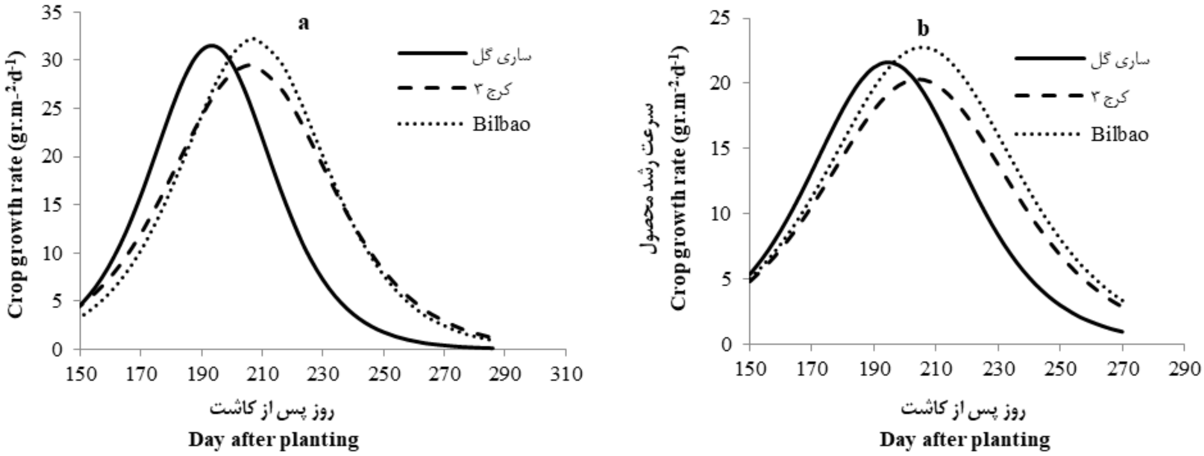
Table 6- Estimated logistic model coefficients of (equation 2) dry matter against day after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (DM_{max} is maximum dry matter, a is equation coefficient, b is time requiring to achieve 50% of maximum dry matter)

	رقم (Cultivar)	n	dmmax±SE	a±SE	b±SE	R^2
Growing season 93-94	Bilbao	9	2037.7±134.8	0.063±0.010	207.3±3.22	0.99
	ساری‌گل	9	1692.3±58.87	0.074±0.009	193.3±1.67	0.99
	کرج ۳	9	1966.9±136.3	0.069±0.013	202.2±3.16	0.99
Growing season 94-95	Bilbao	9	1789.4±134.6	0.046±0.006	208.9±4.43	0.99
	ساری‌گل	9	1455.6±56.97	0.059±0.007	196.6±2.17	0.99
	کرج ۳	9	1577.4±190.6	0.043±0.008	210.2±7.40	0.99

سرعت رشد محصول (CGR)

شکل ۶ روند تغییرات سرعت رشد را در دو سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ نشان می‌دهد. در دو سال، در هر سه رقم CGR در ابتدای رشد (۱۵۰ روز پس از کاشت) به آرامی افزایش یافت. عزیزی و آروین (Azizi and Arvin, 2007) گزارش کردند که در کلزا در شرایطی که شاخص سطح برگ برابر ۱، ۲ و ۳ باشد، دریافت تشعشع به‌ترتیب ۴۵، ۷۰ و ۸۴ درصد خواهد بود. بنابراین پوشش گیاهی با توجه به وجود برگ‌های بزرگ رزت‌که با ساقه یک زاویه متوسطی را می‌سازند و در جهت افقی خمیده می‌شوند؛ نمی‌توانند محدودکننده رشد در اوایل فصل باشند. دمای پایین هوا در اوایل شروع رشد مجدد و نیز مطلوب نبودن مقدار تشعشع خورشیدی از دلایل رشد کند در اوایل فصل رشد مجدد می‌باشد. نبوی (Nabavi, 1998) در خصوص کلزای پاییزه گزارش کرد که سرعت رشد محصول در مراحل اولیه رشد به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب نور، کوتاه بودن روزها و دمای کم محیط روند کندی داشت، ولی بعد از خروج از مرحله رزت با افزایش شاخص سطح برگ، افزایش شدت تشعشع، دما و در نتیجه بهره‌گیری بهتر از نور خورشید میزان تولید ماده خشک در واحد سطح افزایش یافت و به تبع آن سرعت رشد محصول نیز افزایش نشان داد. از این مرحله به بعد سرعت رشد به‌صورت خطی در هر سه رقم در طی هر دو سال زراعی افزایش یافت. در سال اول این افزایش در رقم ساری‌گل با گذشت زمان تا ۱۹۲ روز پس از کاشت ادامه یافت؛ ولی شاخص سطح برگ تا ۲۰۴

روز پس از کاشت بـه حـداکثر رسـید. در رقـم کـرج ۳ سـرعت رشـد محصول ۲۰۴ تا ۲۰۸ روز پس از کاشت به حـداکثر رسـید و شـاخص سطح برگ در ۲۰۸ روز پس از کاشت به حداکثر خود رسـید. در رقـم Bilbao سرعت رشد محصول در ۲۰۸ روز پس از کاشت بـه حـداکثر خود رسید و شاخص سطح برگ در ۲۱۶ روز پس از کاشت به حداکثر خود دست یافت. مقدار CGR در رقم کرج ۳ از دو رقم دیگـر کـم‌تـر بود، ولی زمان رسیدن به حداکثر CGR در رقم ساری‌گل نسبت به دو رقم دیگر متفاوت بود. عدم تطابق بین وقوع حداکثر CGR و شاخص سطح برگ به این دلیل است که در زمـان وقـوع حـداکثر سـرعت رشد محصول شاخص سطح برگ به حدی بوده که ۹۵ درصد تشعشع جذب گردیـده و افـزایش بـیش از آن سـبب افـزایش CGR نگردیـد (شاخص سطح برگ بحرانی). در سال دوم رقم ساری‌گل در ۱۹۴ روز پس از کاشت به حداکثر CGR دست یافت و ارقام کـرج۳ و Bilbao در ۲۰۶ روز پـس از کاشـت بـه حـداکثر CGR رسـیدند کـه تفـاوت معنی‌داری بین دو سال مشاهده نشد. حداکثر CGR بـرای هـر گونـه معین و در شرایط مطلوب، هنگامی پدید می‌آید که پوشـش بـرگ‌هـا کامل باشد و این حالت نشان‌دهنده حداکثر توانایی تولید ماده خشـک و حداکثر تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی شیمیایی در گیاه اسـت. از مرحله پر شدن دانه به علت زرد شدن برگ‌ها و ریزش آن‌ها، شاخص سطح برگ کاهش یافته و در نتیجه CGR کاهش می‌یابد. ایـن رونـد با نتیجه ناظری و همکاران (Nazeri *et al*., 2012) مطابقت داشـت. حسـین‌زاده و همکـاران (Hosseinzadeh *et al*., 2008) گـزارش کردند که در آخر فصل رشد کاهش در روند CGR مشاهده شد و این کاهش زمانی روی داد که گیاه به جای تولید مواد فتوسنتزی بیش‌تـر به انتقال مجدد آن‌ها از اندام‌های مختلف بـه دانـه پرداخـت. بـین دو سال زراعی از نظر حداکثر CGR بین هر سه رقم تفـاوت معنـی‌داری مشاهده شد. مقدار CGR در سال اول به‌طور معنی‌داری از سـال دوم بیش‌تر بود. وجود شرایط تشعشی دریافتی مطلـوب‌تـر در سـال اول و هوای بارانی و ابری بیش‌تـر در سـال دوم علـت تفـاوت CGR در دو سال بود (شکل۱ و ۲). عزیزی و آرویـن (Azizi and Arvin, 2007) اعلام کردند که در کلزا حداکثر سرعت رشد محصول در مرحله پایـان گل‌دهی حادث می‌شود. هم‌چنین ایشان اعلام کردند که ماده خشـک و شاخص سطح برگ دارای ضرایب بالاتر همبستگی نسبت به سـایر شاخص‌های رشدی با عملکرد بودند.



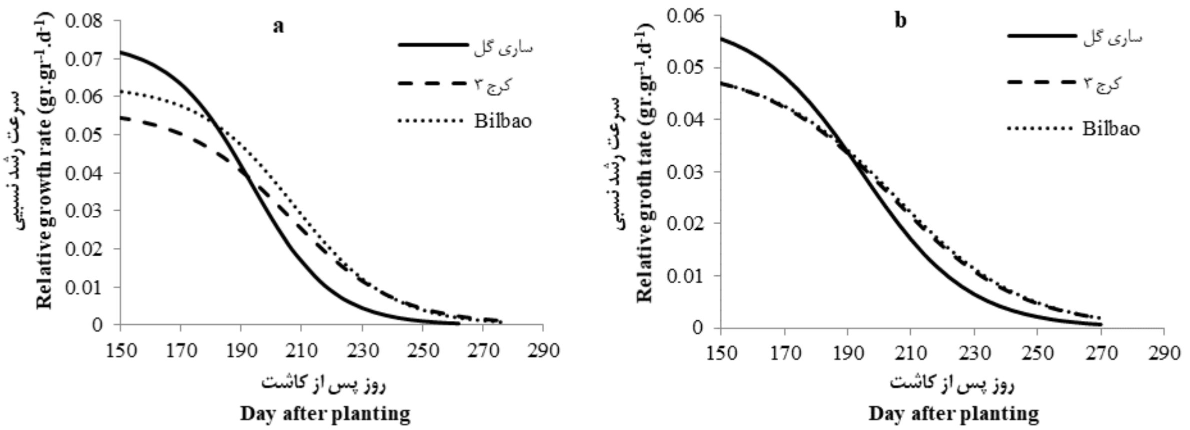
شکل ٦- روند تغییرات سرعت رشد (CGR) در مقابل روز پس از کاشت در ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ٩٤-١٣٩٣ (a) و سال زراعی ٩٥-١٣٩٤ (b)

Figure 6- Trend of changes of crop growth rate (CGR) against days after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

سرعت رشد نسبی (RGR)

بررسی روند تغییرات سرعت رشد نسبی (شکل ۷) نشـان داد کـه این شاخص در ابتدای مراحل رشد حـداکثر و بـا گذشـت زمـان و بـا افزایش دوره رشد و افزایش سن گیاه کاهش یافت. کاهش در سرعت رشد نسبی در طی فصل رشد به این دلیل است که با گذشـت زمـان، وزن گیاه افزایش می‌یابد و در این افزایش وزن، تعداد بافت‌های مرده و کاملاً بالغ که در تولید نقشی ندارند نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین در سایه قرار گرفتن و افزایش سن برگ‌هـای پـایینی در کـاهش میـزان سرعت رشد نسبی در طی فصل رشد مؤثر است (Azizi and Arvin, 2007). بین دوسال زراعی از نظر RGR تفـاوت معنـی‌داری مشـاهده شد. RGR در سال اول آزمایش از سال دوم آزمایش بیش‌تـر بـود. در هر دو سال آزمایش در ابتدای رشد مجدد RGR رقم ساری‌گـل از دو رقم دیگر بیش‌تر بود و در ادامه فصل رشد مقدار RGR ایـن رقـم بـا شیب بیش‌تری کاهش یافت، به طوری‌که مقدار RGR ارقام Bilbao

و کرج۳ (کاهش با شیب ملایم‌تر) تا اواخر فصل بیش‌تر از ساری‌گل بود. با توجه به زمان‌های متفاوت شروع رشد مجدد، به‌نظر می‌رسد در ابتدا رقم ساری‌گل (شروع رشد مجدد زودتر از دو رقم دیگر) دارای بافت‌های فتوسنتزکننده بیش‌تر (شاخص سطح برگ بالاتر در اوایل فصل رشد) نسبت به بافت‌های تنفس‌کننده بود و در ادامه فصل، ارقام Bilbao و کرج۳ تا آخر فصل رشد از این نظر بر رقم ساری‌گل برتری داشتند. سرعت رشد نسبی در سیکل زندگی گیاه روند کاهشی دارد (Campbel *et al*., 2003). همچنین سرعت رشد نسبی با تغییرات وضعیت فتوسنتز و تنفس گیاه تغییر می‌یابد؛ زیرا با گذشت زمان قسمت‌های مهم گیاه مانند ساقه، قدرت فتوسنتز و فعالیت‌های متابولیکی تأثیرگذار در رشد را از دست داده و غیرفعال می‌شوند و سهم زیادی در رشد گیاه ایفا نمی‌کنند (Nazeri *et al*., 2012).



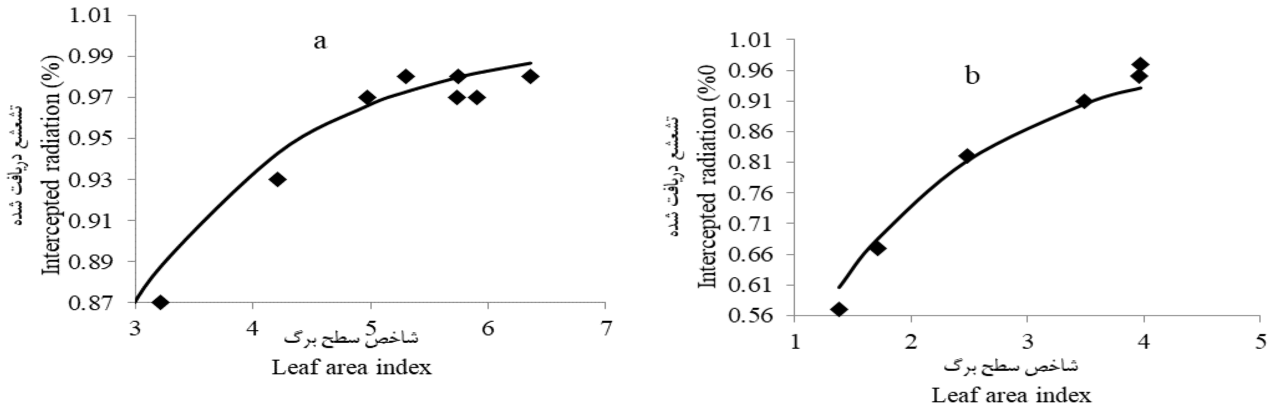
شکل ۷- روند تغییرات سرعت رشد نسبی (RGR) در مقابل روز پس از کاشت در ارقام مختلف کلزا در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ (a) و سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ (b)

Figure 7- Trend of changes of relative growth rate (RGR) against days after planting in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

دریافت تشعشع و کارایی استفاده از آن

معادله ۳ به‌خوبی تغییرات پوشش گیاهی را در مقابل شاخص سطح برگ توجیه کرد (شکل ۸). بین ارقام از نظر مقادیر K_{PAR} به‌دست آمده اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۶). متوسط ضریب خاموشی در سال اول ۰/۷۰ و در سال دوم ۰/۷۲ بود. شاید کاهش تشعشع در سال دوم سبب ایجاد این اختلاف گردیده باشد به طوری‌که گیاه با افقی‌تر کردن برگ‌های خود در جهت جذب تشعشع بیش‌تر باشد. هم‌چنین کاهش ارتفاع بوته در سال دوم نسبت به سال اول می‌تواند علت این اختلاف باشد. در سال اول مقدار K_{PAR} بین ۰/۶۵ در رقم شیرالی تا ۰/۷۶ در ارقام Modena و GKH-2005 متغیر بود. در سال دوم مقدار K_{PAR} بین ۰/۶۳ برای رقم کرج۳ و ۰/۸۰ در رقم ظفر متغیر بود (جدول ۶). خصوصیات کانوپی برگی در کلزا با زمان تغییر می‌کند. در مرحله رزت برگ‌های بزرگ با ساقه یک زاویه متوسطی را می‌سازند و در جهت افقی خمیده می‌شوند طوری‌که ضریب خاموشی (K) ۰/۶ یا بیش‌تر است. در طول دوره طویل شدن ساقه، برگ‌ها کوچک‌تر هستند و به‌صورت عمودی‌تر به ساقه متصل شده‌اند، طوری که مقدار K برابر ۰/۶-۰/۴ است. مقدار ۰/۶ در اغلب موارد برای ارتباط دادن سطح برگ و دریافت تشعشع کل گیاه (نه لایه‌های برگ) کفایت می‌کند و در شرایطی که شاخص سطح برگ، برابر ۱، ۲ و ۳ باشد، دریافت تشعشع به‌ترتیب ۴۵، ۷۰ و ۸۴ درصد خواهد بود (Azizi *et al*., 2000).

همبستگی بین K با هیچ یک از صفات به‌جز شاخص سطح برگ و ارتفاع، معنی‌دار نبود (جدول ۸). در این تحقیق تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع بین ارقام وجود داشت. همبستگی ضریب خاموشی با عملکرد غیرمعنی‌دار بود. ضریب خاموشی با شاخص سطح برگ حداکثر، همبستگی منفی داشت. افزایش ارتفاع سبب می‌شود که برگ در طول ارتفاع گیاه توزیع گردد و بیش‌ترین میزان برگ در نیمه میانی بوته قرار گیرد، اما ارقام با ارتفاع پایین توزیع برگ‌ها در ارتفاع کم‌تری و نیز به احتمال زیاد در نیمه فوقانی کانوپی صورت گرفته است. همبستگی منفی معنی‌دار بین K_{PAR} و ارتفاع ($r=-0/34^{*}$) مؤید این مطلب می‌باشد (جدول ۸). کم‌تر بودن ضریب K موجب می‌شود تا سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص در سطوح بیش‌تر شاخص سطح برگ، حفظ شود (Rahimian mashhadi, Banayane-Aval, 2006).



شکل ۸- رابطه بین نسبت پوشش گیاهی (کسر تشعشع دریافت شده) در مقابل شاخص سطح برگ در سال ۹۴-۱۳۹۳ (الف) و ۹۵-۱۳۹٤ (ب)

Figure 8- Trend of changes intercepted radiation (%) against leaf area index in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

جدول ٦- تخمین مقدار ضریب خاموشی (K) از معادله (۳) شاخص سطح برگ(در ارقام مختلف کلزا در دو سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹٤ تعداد نمونه (n)، ضریب خاموشی بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی (K_{PAR})، ضریب تبیین (R^2)

Table 6- Estimated extinction coefficients (K_{PAR}) (equation 3) in different varieties of canola in 2014-2015 and 2015-2016

	Growing season of 2014-2015			Growing season of 2015-2016		
Cultivar	n	K_{PAR}±SE	R^2	n	K_{PAR}±SE	R^2
Licord	20	0.02±0.70	0.99	20	0.03±0.71	0.99
Bilbao	20	0.01±0.71	0.99	15	0.02±0.71	0.99
GKH305	19	0.02±0.72	0.99	20	0.04±0.75	0.99
Slm046	20	0.01±0.70	0.99	20	0.02±0.74	0.99
Sarigol	19	0.02±0.77	0.99	20	0.03±0.76	0.99
Talayee	20	0.02±0.74	0.99	20	0.02±0.72	0.99
L72	20	0.02±0.67	0.99	20	0.02±0.70	0.99
Sw102	20	0.03±0.70	0.99	20	0.03±0.75	0.99
Shirali	20	0.02±0.65	0.99	20	0.05±0.70	0.99
Zafar	20	0.02±0.77	0.99	20	0.04±0.80	0.99
GKH1103	20	0.01±0.67	0.99	20	0.03±0.64	0.99
Opera	20	0.01±0.72	0.99	20	0.02±0.68	0.99
Zarfam	19	0.01±0.66	0.99	20	0.03±0.72	0.99
Karaje 3	20	0.01±0.67	0.99	20	0.02±0.63	0.99
Kodiak	19	0.03±0.72	0.99	20	0.02±0.71	0.99
Okapi	20	0.01±0.66	0.99	20	0.03±0.76	0.99
Karaje 1	20	0.01±0.70	0.99	20	0.04±0.78	0.99
Modena	20	0.03±0.76	0.99	20	0.03±0.76	0.99
GKH2005	20	0.02±0.76	0.99	20	0.02±0.78	0.99
Traviata	20	0.03±0.72	0.99	20	0.03±0.68	0.99
mean	-	0.70	-	-	0.72	-

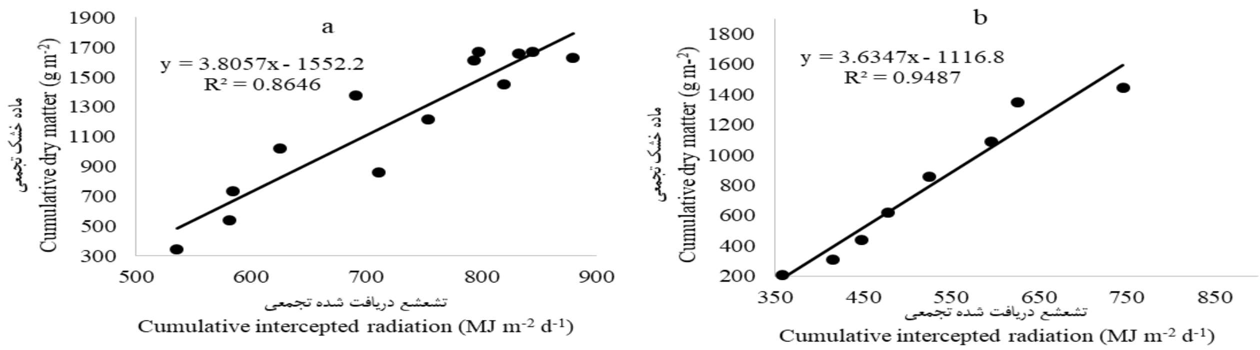
مدل رگرسیون خطی ساده رابطه بین تشعشع تجمعی دریافت شده و بیوماس تجمعی از کاشت تا رسیدگی را با ضرایب تبیین بالاتر از ۸۰ درصد به‌خوبی توصیف کرد (شکل ۹). RUE به‌دست آمده برای ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. هم‌چنین بین دو سال تفاوت معنی‌داری وجود داشت؛ به‌طوری که میانگین آن در سال اول ۳/۸۰ و در سال دوم ۳/۶۳ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی بود (شکل ۹). احتمالاً علت اختلاف بین دو سال تفاوت آشکار آب و هوای دو سال به‌خصوص میزان تشعشع دریافتی و ابری بودن بیش‌تر هوا در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول می‌باشد. به‌عبارتی بیش‌تر بودن تشعشع پراکنده در سال دوم نسبت به سال اول آزمایش سبب این تفاوت گردید (شکل ۱ و ۲). هی و پورتر (Hey and Porter, 2006) بیان کردند که RUE علاوه بر گونه گیاهی، عمدتاً به تغییر حداکثر فتوسنتز برگ، کسر تابش مستقیم یا پراکنده و وضعیت نیتروژن تاج پوشش بستگی دارد. ایشان هم‌چنین بیان کردند که تاج پوشش از تابش پراکنده بیش از تابش مستقیم بهره می‌برد؛ اما کل تابش در روز ابری به اندازه روز آفتابی نیست. بنابراین در شرایط مشابه همیشه ماده خشک تولید شده در روز آفتابی صاف نسبت به روز ابری بیش‌تر است. در بین ارقام در سال اول،

RUE بین ۳/۰۱ در رقم ساری‌گل و ۴/۰۸ گرم بر مگاژول بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی در رقم Bilbao متغیر بود (جدول ۷). در سال دوم کم‌ترین RUE مجدداً به رقم ساری‌گل تعلق داشت (۳/۰۷ گرم بر مگاژول) و بیش‌ترین RUE متعلق به رقم Licord بود (۴/۱۲ گرم بر مگاژول). همبستگی بین RUE و عملکرد (*r=۰/۴۵) و عملکرد بیولوژیک (*r=۰/۳۵) معنی‌دار بود. هم‌چنین همبستگی بین RUE و شاخص سطح برگ حداکثر (r=۰/۰۹^{ns}) معنی‌دار نبود، اما بین RUE و روز تا رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر (**r=۰/۶۸) همبستگی قوی و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷). بنابراین احتمالاً تفاوت RUE بین ارقام در این مطالعه، به عوامل اقلیمی از جمله میزان تشعشع دریافتی از خورشید (Hey and Porter, 2006) و نیز تشعشع دریافتی توسط کانوپی بستگی دارد (Kemanian *et al*., 2000). برای کلزا تعدادی از محققین کارایی مصرف نور را از ۱ تا ۴ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی بسته به شرایط محیطی و مرحله رشدی گزارش نمودند (Justes *et al*., 2000).

جدول ۷- ضرایب معادله توصیف‌کننده‌ی (y=a+bx) تجمع ماده‌ی خشک (گرم در متر مربع) در مقابل تشعشع دریافت شده‌ی تجمعی (مگاژول در متر مربع) در ارقام مختلف در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹٤. تعداد نمونه (n)، شیب خط (کارایی استفاده از تشعشع بر حسب گرم بر مگاژول) (RUE)، ضریب تبیین (R^2)

Table 7- Linear equation coefficients (y=a+bx) of fitted for cumulative dry matter (gr.m^{-2}) against cumulative intercepted radiation (MJ.m^{-2}.d^{-1}) in different varieties in 2014-2015 and 2015-2016

	Growing season of 2014-2015			Growing season of 2015-2016		
Cultivar	**a±SE**	**RUE±SE**	**R^2**	**a±SE**	**RUE±SE**	**R^2**
Licord	404.68±-2100.11	0.50±3.93	0.89	165.03±-1211.16	0.32±4.12	0.96
Bilbao	287.64±-902.90	0.52±4.08	0.89	118.98±-1287.38	0.19±3.71	0.97
GKH305	430.74±-1917.2	0.52±3.90	0.88	162.36±-1288.48	0.27±3.55	0.96
Slm046	384.66±-1265.21	0.59±3.82	0.85	131.29±-996.21	0.23±3.28	0.97
Sarigol	408.07±-1244.69	0.49±3.01	0.84	242.78±-1129.67	0.36±3.07	0.92
Talayee	414.56±-1254.63	0.51±3.03	0.83	240.94±-1214.08	0.44±3.40	0.90
L72	299.31±-1105.62	0.50±3.86	0.89	101.40±-1046.96	0.18±3.49	0.98
Sw102	287.87±-1130.65	0.50±3.90	0.89	250.57±-1934.84	0.35±3.94	0.95
Shirali	434.42±-1226.97	0.54±3.14	0.89	263.09±-747.59	0.55±3.51	0.86
Zafar	564.84±-1431.67	0.65±3.25	0.77	155.80±-1069.74	0.30±3.52	0.95
GKH1103	448.61±-1349.12	0.67±3.98	0.85	108.72±-1136.84	0.18±3.41	0.98
Opera	307.13±-1567.90	0.43±3.82	0.92	186.63±-932.96	0.35±3.29	0.93
Zarfam	502.50±-1716.86	0.55±3.31	0.83	352.99±-1127.18	0.54±3.27	0.83
Karaje 3	342.17±-1422.06	0.47±3.68	0.91	163.67±-1373.98	0.26±3.64	0.98
Kodiak	431.55±-1471.64	0.52±3.26	0.86	132.10±-1230.59	0.25±3.98	0.97
Okapi	341.55±-2025.89	0.42±3.79	0.93	177.14±-1326.07	0.31±3.84	0.97
Karaje1	404.82±-2010.43	0.48±3.92	0.91	86.39±-720.24	0.22±3.55	0.98
Modena	370.31±-1198.03	0.60±3.91	0.87	128.59±-768.61	0.28±3.16	0.95
GKH2005	284.70±-1123.54	0.50±3.92	0.90	112.66±-626.62	0.34±3.94	0.95
Traviata	279.44±-1544.19	0.42±3.98	0.93	152.06±-831.37	0.33±3.88	0.95



شکل ۹- برازش رگرسیون خطی ماده خشک تجمعی (گرم بر متر مربع) در برابر تشعشع تجمعی (مگاژول بر متر مربع) در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ (الف) و ۹۵-۱۳۹٤ (ب)

Figure 9-Linear regression fitted for cumulative dry matter against cumulative intercepted radiation in different varieties of canola in 2014-2015 (a) and 2015-2016 (b)

جدول ۸- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ارقام مختلف کلزا

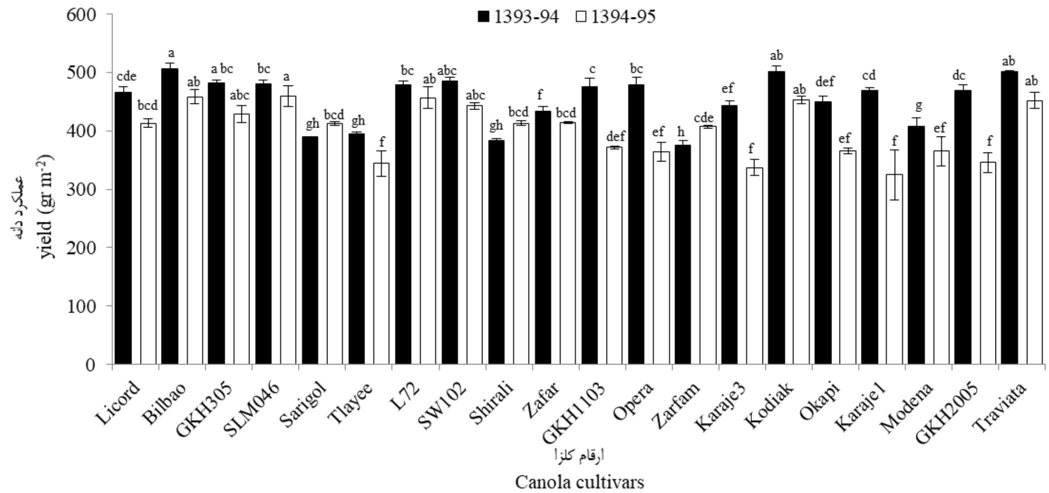
Table 8- Correlation coefficients among investigated characteristics in different canola cultivars

صفت	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Y	1													
BY	0.81^{**}	1												
PN	0.78^{**}	0.51^{**}	1											
SN	0.64^{**}	0.65^{**}	0.53^{**}	1										
SW	0.40^{**}	0.23^{ns}	0.42^{**}	0.02^{ns}	1									
HI	0.79^{**}	0.29^{ns}	0.74^{**}	0.37^{**}	0.40^{**}	1								
EM	-0.09^{ns}	-0.01^{ns}	-0.13^{ns}	-0.26^{ns}	0.28^{ns}	-0.13^{ns}	1							
Ssho	0.50^{**}	0.42^{**}	0.33^{*}	0.47^{**}	0.12^{ns}	0.35^{**}	0.02^{ns}	1						
FlL	0.66^{**}	0.46^{**}	0.81^{**}	0.45^{**}	0.31^{*}	0.59^{**}	-0.24^{ns}	0.09^{ns}	1					
$DLAI_{max}$	0.31^{*}	0.23^{ns}	0.16^{ns}	0.29^{ns}	0.13^{ns}	0.23^{ns}	0.16^{ns}	0.77^{**}	0.02^{ns}	1				
LAI_{max}	0.53^{**}	0.63^{**}	0.29^{ns}	0.54^{**}	-0.13^{ns}	0.22^{ns}	-0.25^{ns}	0.23^{ns}	0.29^{ns}	-0.09^{ns}	1			
K	-0.12^{ns}	-0.17^{ns}	-0.17^{ns}	-0.27^{ns}	-0.003^{ns}	-0.02^{ns}	0.23^{ns}	-0.24^{ns}	0.03^{ns}	-0.01^{ns}	-0.41^{**}	1		
RUE	0.45^{**}	0.35^{**}	0.35^{**}	0.45^{**}	0.27^{ns}	0.37^{*}	-0.02^{ns}	0.70^{**}	0.24^{ns}	0.68^{**}	0.09^{ns}	-0.12^{ns}	1	
H	0.63^{**}	0.68^{**}	0.47^{**}	0.68^{**}	-0.06^{ns}	0.33^{*}	-0.37^{*}	0.45^{**}	0.042^{ns}	0.28^{ns}	0.82^{**}	0.33^{*}	-0.34^{*}	1

Y عملکرد، BY عملکرد بیولوژیک، PN تعداد خورجین در بوته، SN تعداد دانه در خورجین، SW وزن هزار دانه، HI شاخص برداشت، EM روز تا سبز شدن، Ssho روز تا شروع ساقه‌دهی، FIL دوام گل‌دهی، $DLAI_{max}$ روز تا شاخص سطح برگ حداکثر، $LAI_{max=}$شاخص سطح برگ حداکثر، K ضریب خاموشی نور، RUE کارایی مصرف نور

عملکرد دانه

به‌طور کلی عملکرد دانه در سال اول بیش‌تر از سال دوم انجام آزمایش بود (شکل۱۰). میانگین عملکرد ارقام در سال اول ۴۵۳/۸۰ گرم در متر مربع و در سال دوم ۴۰۱/۸۴ گرم در متر مربع بود. با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت دو سال تفاوت عملکرد دور از انتظار نبود. احتمالاً بخشی از کاهش عملکرد مرتبط با کاهش شاخص‌های رشد، از جمله سرعت رشد محصول، به‌دلیل کاهش تشعشع دریافتی بود (شکل ۶). بیش‌ترین عملکرد در سال نخست انجام آزمایش متعلق به ارقام Bilbao، Kodiak، SW102، GKH-305 و Traviata با میانگین عملکرد ۴۹۵/۵۵ گرم در متر مربع و کم‌ترین عملکرد متعلق به ارقام زرفام، ساری‌گل، طلایه، شیرالی و Modena با میانگین عملکرد ۳۷۰/۴۸ گرم در متر مربع بود (شکل ۱۰). بیش‌ترین عملکرد در سال دوم انجام آزمایش متعلق به ارقام Bilbao، GKH-305، Slm046، L72، SW102، Kodiak و Traviata با میانگین عملکرد ۴۵۰/۳۱ گرم در متر مربع و کم‌ترین میزان عملکرد متعلق به ارقام طلایه، Opera، کرج۳، Okapi، Modena، GKH-2005 و کرج ۱ با میانگین عملکرد ۳۴۹/۶۶ گرم در متر مربع بود (شکل۱۰). جدول همبستگی صفات نشان می‌دهد که عملکرد همبستگی مثبت معنی‌داری با ماده خشک ($r=۰/۸۱^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r=۰/۵۳^{**}$) و نیز روز تا رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ ($r=۳۱^{*}$) و نیز کارایی مصرف نور (RUE) ($r=۰/۴۵^{**}$) داشت (جدول ۸). به طور کلی ارقامی که شاخص سطح برگ بالاتری داشتند و نیز زمان رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر، همزمان با تشعشع دریافتی بیش‌تر بود و هم‌چنین از تشعشع دریافتی با کارایی بالاتر بهره‌مند شدند، عملکرد بالاتری داشتند.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد ارقام مختلف کلزا در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴

Figure 10- Mean comparison of different cultivars of canola in 2014-2015 and 2015-2016 growing seasons

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام مختلف کلزا از لحاظ خصوصیات فیزیولوژیک با یکدیگر متفاوت بودند. این تفاوت‌ها سبب تفاوت در عملکرد گردید. ارقامی که تطبیق بهتر پدیده‌های فیزیولوژیک را با شرایط آب و هوایی منطقه داشتند، دارای عملکرد بهتری بودند. تشعشع عامل تعیین‌کننده عملکرد بود و تطابق وقوع پدیده‌های فیزیولوژیک به‌ویژه شاخص سطح برگ با تشعشع بیش‌تر موجب افزایش عملکرد گردید. دوره گل‌دهی (شروع تا پایان گل‌دهی) از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک بود که به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی (به‌ویژه تشعشع) قرار داشت. همبستگی بالای دوره گل‌دهی با عملکرد ($r=0/66^{**}$) و نیز مهم‌ترین جزء عملکرد یعنی تعداد خورجین در بوته ($r=0/81^{**}$) گویای اهمیت این دوره در تعیین عملکرد کلزا در منطقه بود. ارقام از لحاظ شاخص‌های رشد با یکدیگر متفاوت بودند. شاخص سطح برگ بیش‌تر و نیز انطباق زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ با تشعشع دریافتی بیش‌تر تعیین‌کننده عملکرد دانه بود. همبستگی شاخص سطح برگ حداکثر با عملکرد ($r=0/53^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0/63^{**}$) و نیز ارتباط قوی شاخص سطح برگ حداکثر با تعداد دانه در خورجین ($r=0/54^{**}$) گویای اهمیت این شاخص فیزیولوژیک می‌باشد. هم‌چنین همبستگی قوی بین حداکثر تجمع ماده‌ی خشک و عملکرد دانه وجود داشت. ($r=0/81^{**}$). بین RUE و روز تا رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر، همبستگی قوی و معنی‌داری وجود داشت ($r=0/68^{**}$)، یعنی ارقامی که وقوع شاخص سطح برگ حداکثر آن‌ها با تشعشع خورشیدی بیشتر همراه بود دارای کارایی مصرف نور بالاتر و در نتیجه تجمع ماده خشک حداکثر بالاتر بودند.

References

1. Ahmadi, M. Investigation of physiological aspects of growth indices and yield for canola. 2013. Zeitune Magazin. Islamic Republic of Iran. Ministry of Agriculture-Jahad 215: 57-61. (in Persian).
2. Allen, E. J. and Morgan, D. G. 2009. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oilseed rape. Journal of Agricultural Science 78: 315- 324.
3. Attarbashi, M. R., Galeshi, S., Soltani, A., and Zinali, E. 2002. Relationship of phenology and physiology with grain yield in wheat under rainfed condition. Iranian Journal of Agriculture Science 2: 21-27. (in Persian).
4. Azizi, M., and Arvin, P. 2007. Difference and radiation use efficiency in spring cultivars of the oilseed. Electronic Journal of Crop Production 4: 35-50. (in Persian).
5. Azizi, M., Soltani, A., and Khavari khorasani, S. 2000. Brassica oilseeds (production). Iranian Academic Center for Culture and Research (ACECR). Mashhad.230p. (in Persian).
6. Baradaran, R., Majidi, E., Darvish, F., and Azizi, M. 2006. Study of correlation relationships and path coefficient analysis between yield and yield components in rapeseed (*Brassica napus* L.). Iran Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University. 4: 811-819. (in Persian).
7. Berry, M. P., and Spink, J. H. 2006. A physiological analysis of oilseed rape yield, past and future (review). Journal of Agricultural Science. Cambridge. 199: 381-392.
8. Campbel, C. A., Davidson, H. R., and Mcgain, T. N. 2003. Deposition of nitrogen and soluble sugars in Manitou spring wheat as influenced by N fertilizer, temperature and duration of moisture stress. Canadian Journal of Plant Science 63: 73-90.
9. Carter, C. T., Brown, L. S., and Ungar, I. A. 2003. Effect of temperature regimes on germination of dimorphic seeds of Atriplex prostrate. Biologia Plantarum 47: 269-272.
10. Clarke, J. M., and Simpson, G. M. 2008. Growth analysis of *Brassica napus* CV. Tower. Canadian Journal of Plant Science 58: 587-595.
11. Etesami, M. 2007. Evaluation of the effect of some physiological traits on yield barley (*Hurdeum Vulgare* L.) genotypes yield. MSc Thesis. Agriculture and Resources Science University of Gorgan.78p. (in Persian).
12. Faraji, A. 2005. Study on yield, Agronomic characters and traits correlation of eighteen spring canola cultivars in Gonbad Area. Seed and Plant 3: 385-398.
13. Felent, F., Kiniry, J. R., Board, J. E., Westgate, M. E., and Reicosky, D. C. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficient of corn, sorghum, soybean and sunflower. Agronomy Journal 88: 185-190.
14. Gabrielle, B., Denoroy, P., Goose, G., Justes, E., and Andersen, M. N. 1998. A model of leaf area development and senescence for winter oilseed rape. Field Crops Research 57: 209-222.
15. Gardner, F. P., Pearce R. B., and Mitchell R. L. 2005. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. USA. 421 pp.
16. Habekotte, B. 2007. Evaluation of seed yield determining factors of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) by means of crop growth modeling. Field Crops Research 54: 137-151.
17. Hey, R., and Porter, J. 2006. The Physiology and Crop yield. Blackwell publishing.

18. Hosseinzadeh, M. H., Esfahani, M., Rabiei, M., and Rabiei, B. 2008. Effect of row spacing on light interception, grain yield and growth indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars as second crop following rice. Iranian Journal of Crop Sciences 3: 281-302. (in Persian).
19. Justes, E., Denoroy, P. Gabrielle, B., and Gosse, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. European Journal of Agronomy 13: 165-177.
20. Kemanian, A. R., Stockle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of barley radiation use efficiency. Crop Science 44: 1662-1672.
21. Lebaschy, M. H., and Sharifi Ashour Abadi, E. 2004. Application of physiological growth indices for suitable harvesting of *Hypericum perforatum*. Pajouhesh and Sazandegi 65: 65-75. (in Persian).
22. Lucas, B., Slafer, A., and Otegui, E. 2003. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. Field Crops Research 86: 131-146.
23. Manaffe, W. F., and Kloepper, J. W. 2004. Application of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. Crop Science 35: 150-164.
24. Miralles, D. J., Ferro, B. C., and Slafer, G. A. 2011. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. Field Crops Research 71: 211-223.
25. Nabavi, A. 1998. The Effect of Planting Date on Yield and Components of Canola in Mashhad condition. MSc Thesis. Mashhad Ferdowsi University. (in Persian).
26. Nazeri, P., Khashan, A., Khavazi, K., Ardakani, M. R., and Mirakhori, M. 2012. Effect of use microbial zinc granulated phosphorous bio fertilizer on growth indices of bean. Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding 3: 111-126. (in Persian).
27. Ouzuni Douji, A. A., Esfahani, M., Samizadeh Lahiji, H. A., and Rabiei, M. 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled flowers rapeseed (*Brassica Bapus* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Science 9: 400-328. (in Persian).
28. Rahimian mashhadi, H., and Banayane-Aval, M. Biological Control of Weeds. 2006. Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad.116p. (in Persian).
29. Rodi, D., Rahmanpour, S., and Javidfar, F. 2003. Canola. Seed and plant improvement institute of Karaj, Iran. 53p. (in Persian).
30. Sharma, A. K. 2003.Biofertilizers for sustainable agriculture.1st edition. Jodhpur: Agrobios, India. 456p.
31. Sinclair, T. R., and Muchow, R. C. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 35: 215-265.
32. Soltani, A. 2005. Determination of effective parameters on accumulation and distribution nitrogen on chickpea. Research design reported. The University Agricultural Science and Natural Resources of Gorgan. 120 p. (in Persian).
33. Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi Daz, M., and Sarparast, R. 2006b. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology 138: 156-167.
34. Sylvester-Bradley, R., and Makepeace, R. J. 1984. A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Aspects of Applied Biology 6: 398-419.
35. Tahmasebizade, H., Khodabande, N., Madani, H., and Farahani, I. 2009. Investigation of growth analysis of spring safflower and its effect on yield in Arak condition. New Finding in Agriculture 2: 136-154. (in Persian).
36. Thurling, N. 1974. Morphophysiological determinants of yield in rapeseed (*Brassia compestris* and *Brassica napus*). II. Yield components. Australian Journal of Agricultural Research 25:711-721.
37. Vanosterom, E. J., Oleary, G. J. Caberry, P. S., and Craufurd, P. Q. 2007. Growth, development, and yield of tillering pearl millet. III. Biomass accumulation and partitioning. Field Crops Research 79: 85-106.
38. Yano, T., Aydin, M., and Haraguchi, T. 2007. Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. Sensors 7: 2297-2315.
39. Zamiri, M. A. 2009. Investigation of the effect of Planting dare on growth, Yield and Components three Cultivars of Canola in Dezfoul Condition. MSc Thesis. Islamic Azad University. Dezfoul Branch. 141p. (in Persian).
40. Zia, S., and Khan, M. A. 2004. Effect of light, salinity and temperature on seed germination of Limonium stocksii. Canadian Journal of Botany 84: 151-157.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 53-73

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۷۳-۵۳

Investigation the Physiological Traits Associated with Canola (*Brassica napus* L.) Genotypes Yield Improvement

A. Foroughi[1*], A. Biabani[2], A. Rahemi Karizaki[3], Gh. A. Rassam[4]

Received: 14-04-2017
Accepted: 18-09-2018

Introduction: Canola (*Brassica napus* L.) is one of the most important oil crops in the world. It has placed in third rank after soybean and palm and has the fastest of growth rate among oil seed in recent decades too. Canola yield was 1592 and 1567 kg.ha^{-1} in Iran and the world in 2003, respectively, however it has increased to 2125 and 2043 kg.ha^{-1} in Iran and the world in 2014, respectively. Crop physiologist should investigate the important physiological parameters which in the past have increased yield and can help to increase the quality and quantity of crop yield in the future. Therefore, the current study was carried out to evaluate the physiological traits associated with canola (*Brassica napus* L.) genotypes yield improvement.

Materials and Methods: Experiment was conducted as randomized complete block design with four replications at Higher Education Complex of Shirvan during growing seasons 2014-2015 and 2015-2016. Treatments were included 20 cultivars and lines of rapeseed. The record of phonological stages was done based on Sylvester-Bradley (1984)'s method. Before the plants showed elongation. Aboveground biomass and leaf area index (LAI) were measured from destructive sampling and it has been continuing at intervals of 6 to 10 d until physiological maturity. The ratio intercepted photosynthetic active radiation (PAR) was obtained by measuring of radiation at the top and bottom of the canopy with a Ceptometer (ACCUPAR model LP-80). Light was measured just before each destructive sampling between the hours of 12 to 14 on clear days. To calculate the daily cumulative solar active radiation we used RLY- calc program (Soltani, 2011). In order to investigation of growth indices, we have divided the varieties to three group based on cluster analysis and is select a variety as group representative. The groups are included high yield (Bilbao), medium yield (Karaje 3) and low yield (Sarigol).

Results and Discussion: Results indicated that there were significant differences among studied varieties in terms of phenological traits. So that Sarigol, Talayee, Shirali, Zafar and Zarfam were achieved earlier than others to physiological maturity. Positive and significant correlation of flowering duration with yield and the number of pod plant^{-1} has showed its importance in determination of yield. Positive and significant correlation among flowering duration with yield (r=0.66**) and the number of pod per plant (r=0.88**) showed its importance in determination of yield. Also, the most important of stage at making yield was affected by environmental conditions such as temperature, radiation and rainfall. LAI for Bilbao was higher than Sarigol and Karaje 3. Also, Sarigol was achieved maximum LAI earlier than two other varieties. There was strong correlation between yield and maximum dry matter accumulation (r=0.81**). The synchronization of maximum LAI with more solar radiation was much more important to achieve maximum yield. In the first year of experiment, crop growth rate (CGR) and relative growth rate (RGR) were higher than second. There was more solar radiation in first year that it was increased growth indices. The average extinction coefficient of light (KPAR) is estimated 0.70 and 0.72 in the first and second year of experiment respectively. In the first year of experiment, KPAR was varied between 0.65 (Shirali) to 0.76 (Modena and GKH-2005). In the second year, the highest and lowest extinction coefficient was belonged to the varieties Zafar (0.80) and Karaje 3 (0.63) respectively. The average of radiation use efficiency (RUE) is estimated between 3.8 and 3.6g MJ .m^{-2} in the first and second year respectively. Reducing light use efficiency in the second year can be probably because of obvious difference of weather between two years especially decreased of radiation. In other words, more scattered radiation in the second year than first year can be a major reason for this difference. In general, grain yield in the first was more than the second year of the experiment. The average yield of cultivars in the first and second year was 453.8 g.m^{-2} and 401.8 g.m^{-2}

1- Former Ph.D. student of Crop Physiology, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University
2- Associate Professor of Crop Physiology, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University
3- Assistant Professor of Crop Physiology, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University
4- Associate Professor of Crop Ecology, Department of Plant production, Higher Education Complex of Shirvan
(*- Corresponding Author Email: abbasfrooghi@yahoo.com)

respectively. The highest yield in the first year belonged for Bilbao, Kodiak, SW102, GKH-305 and Traviata with the mean 495.5 $g.m^{-2}$ and the lowest yield related to Zarfam, Sarigol, Talaei, Shiraly and Modena with the average amount of 370.5 $g.m^{-2}$. The highest yield in the second year belonged to Bilbao, GKH-305, Slm046, L72, SW102, Kodiak and Traviata with the average amount of 450.3 $g.m^{-2}$ and the lowest yield belonged to cultivars Talayeh, Opera, Karaj 3, Okapi, Modena, GKH-2005 and Karaj 1 with an average yield of 349.7 $g.m^{-2}$. In general, cultivars with a higher LAI, as well as whose their maximum LAI coincided with higher radiation input had higher yield.

Conclusions: It can be concluded the importance of the synchronization maximum leaf area index with more solar radiation. For canola if the maximum LAI is less than four can say that growth and yield will be limited due to lack of leaf area because LAI about four is sufficient to obtain about 90 % of solar radiation. Therefore in spite of second year, in the first year LAI was not limiting factor to achieve maximum biomass. Since maximum LAI of canola occurs in flowering stage, so higher leaf area index at this time was caused the cultivars use more solar radiation. In addition to maximum LAI, the coincidence maximum LAI with higher radiation input was important factor to achieve a higher yield as a result more dry matter accumulation.

Keywords: Extinction coefficient, Leaf area index, Phonological characteristics, Radiation use efficiency